

소형 풍력발전 시스템을 위한 CRIO 기반의 실시간 제어 시스템 설계 및 다양한 형태의 MPPT 알고리즘 성능 비교 분석

Design of CRIO-based real-time controller for small-sized wind turbine generating system and comparative study on performance of various MPPT algorithms

김수진 · 김병문 · 김성호

Su-Jin Kim and Byung-Moon Kim and Sung-Ho Kim

군산대학교 전자 정보 공학부

요 약

10KW 이하의 소형 풍력 발전 시스템은 언덕이나, 공원, 도시와 같은 협소한 지역에 유연하게 설치될 수 있다는 장점으로 인해 신재생에너지 분야에서 지속적인 연구/개발이 이루어지고 있다. 소형 풍력 발전기는 낮은가격, 고신뢰도 및 고성능이 중요시되기 때문에 최대 전력을 추종하기 위한 다양한 기법이 요구된다. 일반적으로 제어기의 출력은 DC 부하에 전원을 공급하기 때문에 48V 배터리에 연결되어 동작된다. 본 논문에서는 소형 풍력 발전 시스템을 위한 FPGA 기반 MPPT 제어기를 제안하고자하며, 제안된 시스템에서의 다양한 MPPT 알고리즘의 성능을 검증하기 위해 NI사에서 제작된 Compact-RIO 컨트롤러를 사용하였다.

키워드 : 소형 풍력 발전 시스템, MPPT(Maximum Power Point Tracking), Compact-RIO

Abstract

The small-sized wind turbine generating system with the output power less than 10kW, which can be installed in some areas of hills, parks, and cities due to its flexibility, is one of the progressive research and development fields in renewable energy. It is important for the small wind turbine generators to have low cost, high reliability as well as high efficiency. To meet these requirements, development of various maximum-power-point-tracking (MPPT) control schemes should be required. Generally, the output of the controller can be connected to a 48V battery to supply power to a DC load. In this work, the design and implementation of an FPGA-based MPPT controller for small-sized wind turbine generating system is presented. For the verification of the practical performance of various MPPT algorithms, CRIO controller from NI has been used.

Key Words : small-size wind turbine generating system, MPPT(Maximum Power Point Tracking), Compact-RIO

1. 서 론

최근 10kW급 이하의 출력을 갖는 수직형 또는 수평형 소형 풍력발전시스템은 설치상의 유연성으로 인해 공원, 도시에 적극적으로 도입되고 있으며 소형 수직축 풍력발전 시스템은 요잉 컨트롤이 필요 없다는 점 때문에 자동차에까지 도입이 추진되고 있는 실정이다. 또한 미국의 소형 풍력발전 시스템 시장은 2008년 한해에 약 78%의 성장을 달성했으며 추가적인 17.3MW의 발전용량을 확보한 상태이다[1]. 따라서 보다 광범위한 소형풍력발전시스템의 보급을 위해

서는 낮은 가격, 고신뢰도 및 고성능을 보장하는 시스템 개발이 절실히 요구되고 있다. 이러한 요구조건을 만족시키기 위해서는 효율적인 최대 전력점 추종 알고리즘의 개발이 필요하며 이를 위해 P&O(Perturbation and Observation) 기법 및 전력 mapping 기법 등이 제안된 바 있다[2-4].

이에 본 연구에서는 풍력발전 시스템에 적용 가능한 다양한 형태의 MPPT 알고리즘에 대해 고찰하고자하며, 고찰된 다양한 형태의 MPPT 알고리즘들을 실제 제작된 CRIO 기반의 실시간 제어 시스템에의 적용 실험을 통해 그 성능을 비교분석 해보고자 한다.

2. 소형 풍력 발전 시스템의 구성요소

본 연구에서 고찰하고자 하는 소형 풍력발전 시스템의 전체 구성을 나타내면 그림 1과 같다.

접수일자 : 2010년 9월 27일

완료일자 : 2011년 1월 30일

본 연구는 2010년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지 기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No. 2009T100100576)

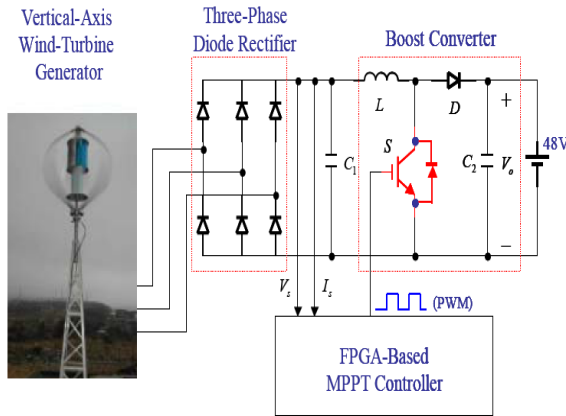


그림 1. 소형 풍력발전 시스템의 전체 구성도
 Fig 1. The entire configuration of the small-sized wind turbine systems

그림 1에서와 같이 소형 풍력발전 시스템은 크게 수직 또는 수평 블레이드와 PMSG 발전기, 발전기의 출력단에 연결되어 DC 전압을 생성하는 3상 브리지 다이오드, 배터리 또는 DC 부하에 전력을 공급하기 위한 DC-DC 컨버터 및 DC-DC 컨버터의 듀티비(duty ratio)를 제어하기 위한 실시간 제어기 등으로 구성된다.

2.1 블레이드의 특성

풍속 V_{wind} 의 바람이 불 때, 블레이드가 바람으로부터 받아들이는 에너지는 식(1)과 같이 전력계수(power coefficient) C_p 와 풍속의 3승에 비례한다[4-5].

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

여기서 A 는 회전자의 단면적[m^2], ρ 는 공기의 밀도로 약 $1.25 [Kg/m^3]$ 이다.

상기 식에서 전력계수 C_p 란 풍속 V_{wind} 의 바람이 갖고 있는 에너지 중에서 블레이드가 받아들이는 에너지의 비율을 의미하며, 풍속에 대한 블레이드의 회전 속도비인 주속비(TSR: Tip Speed Ratio) λ 의 함수로 표현된다. 주속비 λ 는 다음과 같이 정의되며, 여기서 R 은 블레이드의 반경이다.

$$\lambda = \frac{R\omega}{V_{wind}} \quad (2)$$

주속비에 따른 출력계수 변화의 한 예를 보이면 그림 2와 같다. 그림 2로부터 블레이드가 회전을 개시하여, 주속비가 점점 커지면 블레이드의 출력계수, 즉 출력 효율이 증가하다가 어느 속도 이상으로 회전하게 되면 효율이 오히려 떨어진다. 이러한 특성곡선은 블레이드의 설계시에 결정되며 Betz의 연구결과 및 Rankine-Froude 모델에 따르면 출력계수의 이론적 최대값은 0.59임이 알려져 있다.

그림 2로 주어지는 주속비 대 전력계수의 관계로부터 풍속이 변화할 경우, 블레이드의 회전속도에 따른 출력을 구하면 그림 3과 같다. 그림 3으로부터 알 수 있듯이 최대 전력점 추종은 풍속이 변화함에 따라 최대 전력의 인출을 위해 발전기 또는 블레이드를 규정된 속도로 회전시키는 것을

의미한다.

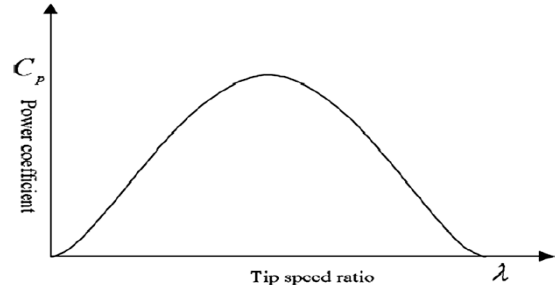


그림 2. 주속비에 대한 전력계수 곡선
 Fig 2. Power coefficient vs. tip-speed ratio(TSR) curve

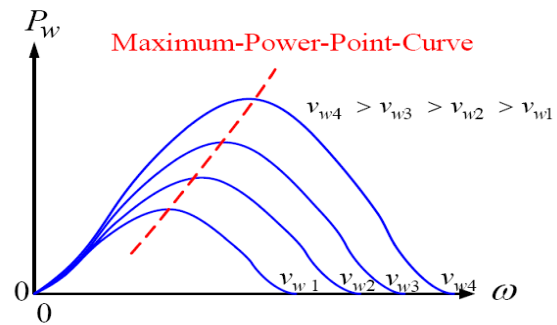


그림 3. 풍속의 변화에 대한 회전속도 대 출력특성
 Fig 3. Characteristic of turbine power and speed of blade corresponding to wind speed

2.2 PMSG 및 부스트 컨버터의 특성

본 절에서는 소형 풍력발전 시스템의 발전기로 널리 사용되고 있는 PMSG(Permanent Magnet Synchronous Generator)와 DC 부하 또는 배터리를 위한 전력 공급을 위한 부스터 컨버터의 특징에 대해 살펴보고자 한다.

일반적으로 PMSG에서는 블레이드와 연결된 영구자석의 회전에 의해 고정자 권선으로부터 3상 전압이 유도된다. 특히 소형 풍력발전 시스템에 사용되는 PMSG의 경우, 발전기로부터 유도된 3상 전압의 효율적 처리를 위해 발전기 내부에 3상 다이오드 브릿지 정류회로를 사용하여 직류발전기와 같이 직류 전압을 출력하도록 설계된다.

따라서 PMSG에 3상 다이오드 브릿지 정류회로를 도입하면 PMSG의 로터의 회전속도 대 출력 전압(V_s)은 다음과 같은 수식에 의해 표현될 수 있다.

$$\frac{V_s}{\omega_e} = k_1 \phi = k_2 \quad (3)$$

여기서 ϕ 는 영구자석 회전자에 의해 발생하는 자속이며 ω_e 는 고정자 권선으로부터 발생하는 3상 전압의 전기적 회전각속도이다. 또한 k_1 과 k_2 는 PMSG와 관련된 상수이다

일반적으로 소형 풍력발전 시스템의 경우, 블레이드와 PMSG는 증속기를 통하지 않고 바로 직결되기 때문에 발전기의 전기적 회전 각속도와 블레이드의 회전 각속도는 다음과 같은 관계를 갖는다.

$$\omega_e = \frac{P}{2} \omega \quad (4)$$

여기서 P는 PMSG 발전기의 극수이다.

따라서 식(3), (4)로부터 블레이드의 회전속도에 따른 PMSG 발전기의 출력전압 V_s 는 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$V_s = \frac{P}{2} k_2 \omega \quad (5)$$

일반적으로 부스트 컨버터의 입력 V_s 와 출력 V_o 는 다음과 같은 관계를 갖는다.

$$\frac{V_o}{V_s} = \frac{1}{1-D} \quad (6)$$

여기서 D는 부스트 컨버터의 스위칭소자에 인가되는 펄스의 듀티비를 의미한다. 부스트 컨버터의 듀티비 변화는 부스트 컨버터 출력단에 연결된 고정된 부하의 가변을 의미하며 따라서 부하의 크기를 변화시킴으로써 발전기로부터 인출되는 전류의 크기를 조절하는 것이 가능하게 된다.

따라서 블레이드의 회전수, PMSG 발전기의 출력전압 V_s 및 듀티비 D의 변화에 따른 발전기 출력곡선은 다음과 같이 비슷한 양상을 보이게 된다.

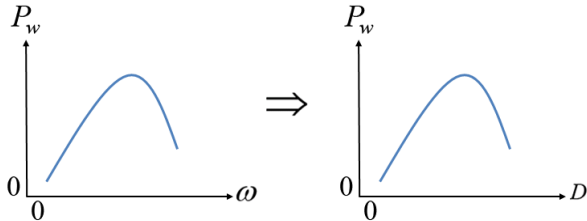


그림 4. 블레이드의 회전속도 및 부스트 컨버터의 듀티비에 대한 발전기의 출력곡선

Fig 4. The curve of the wind-turbine output power versus to the rotation speed and duty ratio of boost converter

2.3 MPPT 알고리즘

본 절에서는 소형 풍력발전 시스템의 MPPT 제어에 일반적으로 사용되고 있는 다양한 형태의 MPPT 알고리즘에 대해 고찰하고자 한다.

2.3.1 IC (Incremental Conductance) 기법

본 절에서는 소형 풍력발전 시스템의 MPPT 제어에 일반적으로 사용되고 있는 IC (Incremental Conductance) 기법에 대해 살펴보고자 한다.

이 기법은 태양광 발전 시스템의 MPPT에 효과적으로 도입되고 있는 기법으로 기본 개념은 그림 5에서와 같이 최대 전력점에서 $dP/dV=0$ 이 된다는 사실에 근거하여 부스트 컨버터의 듀티비를 조절하여 최종적으로 dP/dV 가 0이 되도록 제어하는 기법이며 이의 구체적인 동작은 그림 6과 같다.

2.3.2 선형 근사화 (Linear Approximation) 기법

선형 근사화 MPPT 알고리즘의 동작원리는 그림 7에서와 같이 풍속의 변화에 따른 최대 전력점들을 하나의 직선으로 근사화한 후, 임의의 시점에서 발전기로부터 인출되는 전력을 이용하여 관측된 전력과 선형화된 직선과의 교점에 해당하는 듀티비를 구하고 이를 MPPT에 활용하는 기법으로 풍속의 변화에 신속히 동작한다는 장점으로 인해 널리

적용되고 있는 MPPT 알고리즘이다.

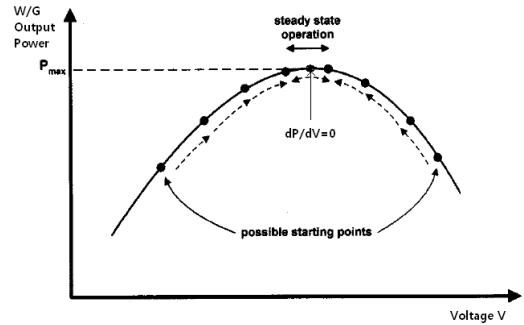


그림 5. Incremental Conductance 기법의 동작원리
Fig 5. The operation principle of Incremental Conductance method

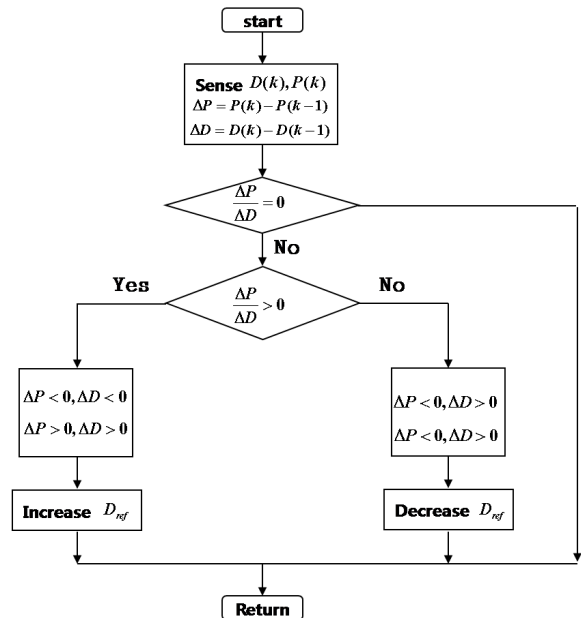


그림 6. IC 기법에 대한 플로우 차트
Fig 6. Flowchart of the IC method

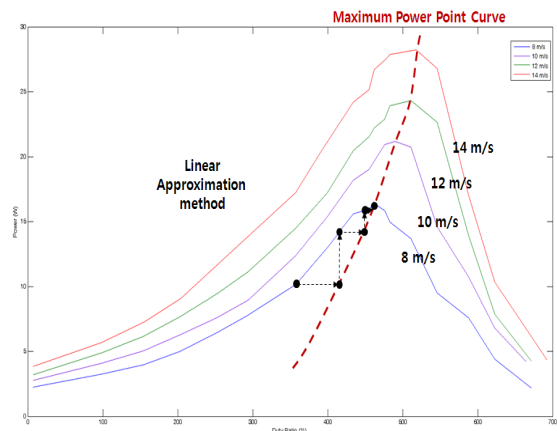


그림 7. 선형 근사화 MPPT 알고리즘 동작 원리
Fig 7. The operating principle of linear approximation MPPT algorithm

2.3.3 P&O 기법과 선형 근사화 기법이 결합된 MPPT 기법

본 절에서는 Teaching Maximum Power Point Trackers Using a Photovoltaic Array Model with Graphical User .등에 의해 제안된 바 있는 P&O 기법과 선형 근사화 기법이 융합된 MPPT 알고리즘에 대해 설명하고자 한다[5]. P&O 기법과 선형 근사화 기법을 융합한 MPPT 알고리즘은 최대 전력점을 연결한 직선의 좌우측에 일정한 영역을 설정하고 현재 동작점이 영역 밖에 있을 때에는 선형 근사화 기법을 적용하고 동작점이 영역 내에 들어오게 되면 P&O 기법을 적용하게 된다. 그림 8은 P&O 기법과 선형 근사화 기법을 융합한 MPPT 알고리즘에 대한 동작원리를 나타낸 것이며, 그림 9는 동작 흐름도를 나타낸 것이다.

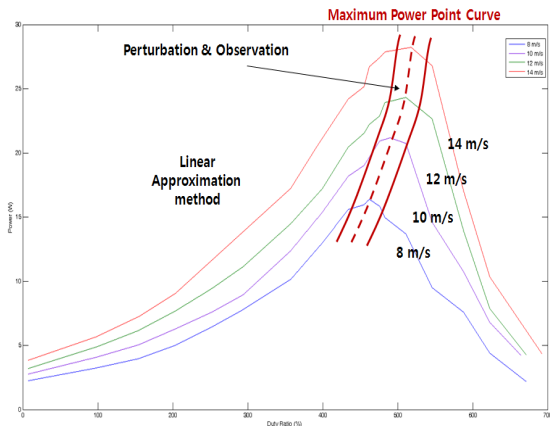


그림 8. P&O 기법과 선형 근사화 기법이 결합된 MPPT 기법의 동작원리

Fig 8 , The operating principle of mixing method of P&O and linear approximation method.

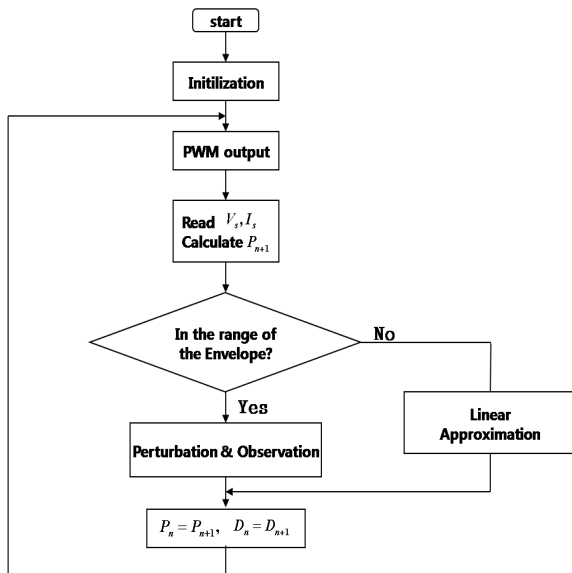


그림 9. P&O 기법과 선형 근사화 기법이 결합된 MPPT 기법에 대한 플로우 차트

Fig 9. Flowchart of mixing method of P&O and linear approximation method

2.3.4 IC 기법과 선형 근사화 기법이 결합된 MPPT 알고리즘

본 절에서는 다양한 형태의 MPPT 알고리즘의 성능 분석을 위해 IC 기법과 선형 근사화 기법을 융합한 알고리즘에 대해 설명하고자 한다. 이 기법은 전절에서 고찰한 P&O 기법과 선형 근사화 기법을 융합한 MPPT 기법에서 P&O 기법 대신 IC 기법을 적용한 기법으로 현재 동작점이 영역 밖에 존재하게 되면 선형 근사화 기법을 적용하고, 동작점이 영역 내에 존재하게 되면 IC 기법을 적용하게 된다. 그림 10은 IC 기법과 선형 근사화 기법을 융합한 MPPT 알고리즘의 동작원리를 나타낸 것이며, 그림 11은 동작 흐름도를 나타낸 것이다.

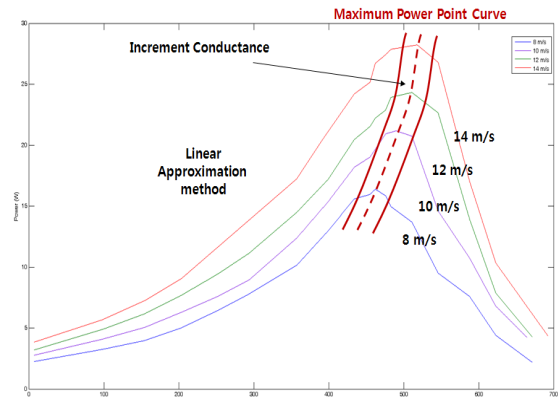


그림 10. IC 기법과 선형 근사화 기법이 결합된 기법의 동작 원리

Fig 10. The operating principle of mixing method of IC and linear approximation method.

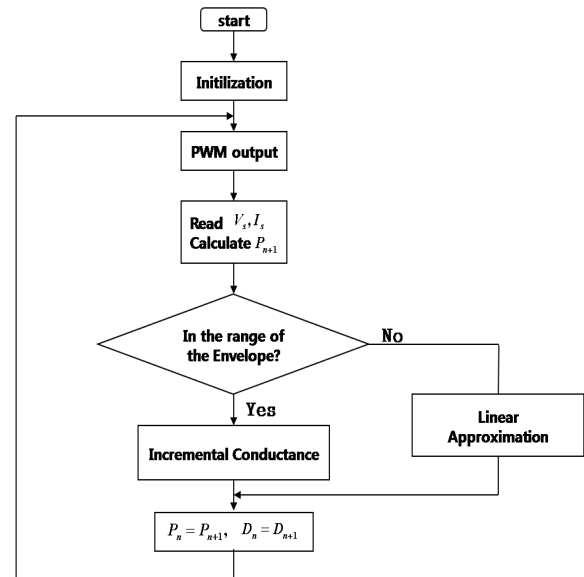


그림 11. IC 기법과 선형 근사화 기법이 결합된 기법에 대한 플로우 차트

Fig 11. Flowchart of mixing method of IC and linear approximation method.

3. CRIO 기반의 실시간 제어 시스템 설계

본 장에서는 상기에서 설명한 다양한 형태의 소형풍력발전기에 적용 가능한 MPPT 알고리즘에 대한 성능분석을 위해 제작된 NI사의 CRIO 시스템 기반의 실시간 제어 시스템을 소개하고자 한다.

그림 12는 MPPT 제어 실험을 위해 설계된 실시간 제어 시스템의 전체 구성에 대한 블록도를 나타낸 것이며, 그림 3은 제작된 실제 시스템을 나타낸 것이다.

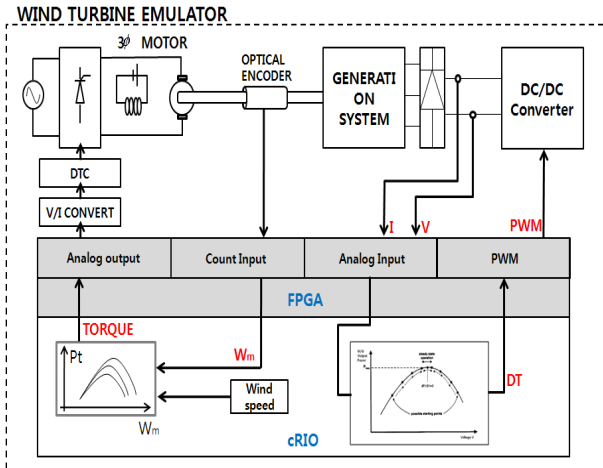


그림 12. 소형 풍력발전 시스템을 위한 실시간 제어 시스템의 전체 구성

Fig 12. The entire configuration of real-time control systems for the small-sized wind turbine systems

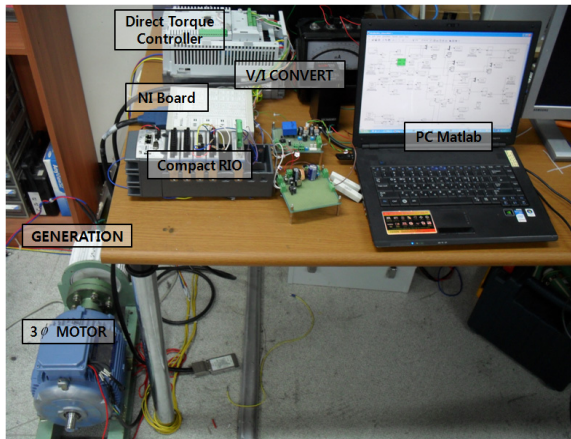


그림 13. 제작된 소형 풍력발전기 실시간 제어 시스템

Fig 13. The real-time control system for the small-sized wind turbine system which is made

그림 12로부터 소형 풍력발전 시스템을 위한 실시간 제어 시스템은 3상 유도전동기 기반의 토크 발생부, 3상 유도전동기의 샤프트와 연결된 PMSG 발전기/3상 브릿지 다이오드 모듈, PMSG 발전기의 출력단에 연결된 부스트 컨버터와 CRIO기반의 실시간 제어 시스템으로 구성됨을 알 수 있다. 본 연구에서는 풍동실험을 대신 할 수 있도록 3상 유도전동기 기반의 토크 시뮬레이터를 사용하였다. 토크 시뮬레이터는 풍력 발전기의 구동을 위한 토크를 발생시켜주는

부분으로 현재의 풍속 및 블레이드의 회전수에 해당하는 토크를 발생시키는 기능을 하며 블레이드 설계 시 결정되는 토크 특성곡선은 3차원 look-up 테이블에 저장된다. 본 연구에서 사용된 3상 유도전동기 및 PMSG 발전기의 사양을 나타내면 표 1과 같다.

표 1. 전동기 및 발전기 사양.

Table 1. Motor and generator specifications.

3상 유도 전동기	PMSG 발전기
P=2,200W	영구 자석형 3상 교류
V=220/380V	P = 300W
Wrate=1730rpm	V=24V DC(정류기출력)
Ia=8.6/5.0A	Wrate=650rpm

전절에서 고찰한 다양한 형태의 소형풍력발전 시스템에 적용 가능한 MPPT 알고리즘의 실시간 구현을 위해 본 연구에서는 NI사에서 판매되고 있는 CRIO-6022라는 실시간 제어 시스템을 사용하였다. CRIO-6022는 FPGA로 구현되는 세시, 데이터 측정 모듈 및 실시간 제어기로 구성된다. 세시는 컨트롤러와 데이터 측정 모듈을 연결해주는 Compact RIO 본체를 말하며 데이터 센싱 모듈에서 측정된 데이터 정보를 컨트롤러에 전송하는 기능을 수행한다. 또한 실시간 제어기에는 Wind River사에서 개발된 RTOS(Real Time Operation System)인 VxWorks가 탑재되며, RTOS 상에서 동작되는 어플리케이션(MPPT 알고리즘)은 Labview로 개발되었다.

실시간 제어 시스템에서 동작되는 Labview 기반의 MPPT 제어 프로그램에 대한 블록도를 나타내면 그림 14와 같다.

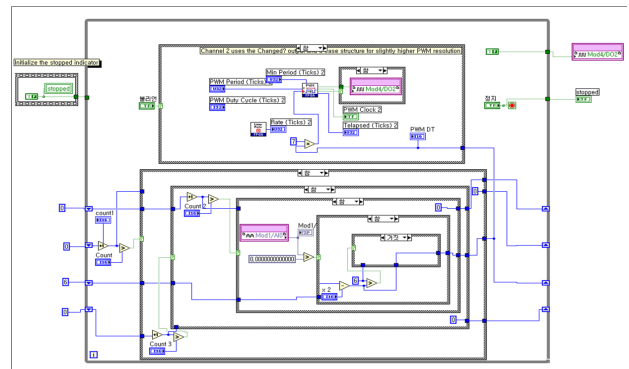


그림 14. Labview 컴포넌트로 구성된 실시간 제어 시스템 블록도

Fig 14. Block diagram of real-time control system consist of Labview component.

Labview로 구성된 실시간 제어 시스템은 그림 14에서와 같이 데이터 측정 모듈로부터 얻어진 부스트 컨버터의 입력 전압&전류 및 PMSG 샤프트에 연결된 엔코더로부터의 회전속도를 기반으로 다양한 형태의 MPPT 알고리즘을 구현할 수 있도록 설계되었다.

4. 다양한 형태의 MPPT 알고리즘의 실시간 성능 분석

본 장에서는 상기에서 고찰한 다양한 형태의 MPPT 알고리즘을 실시간 제어시스템에 적용하여 그 성능을 비교실험 해보았다.

4.1 300W 급 PMSG의 듀티비 대 전력 특성 곡선

소형 풍력발전 시스템에서 MPPT알고리즘을 구현하기 위해서는 기본적으로 풍력발전 시스템에 대한 듀티비 대 전력 특성곡선을 알아야 하며 본 실험에 사용된 풍력발전 시스템의 듀티비 대 전력 특성곡선을 나타내면 다음과 같다.

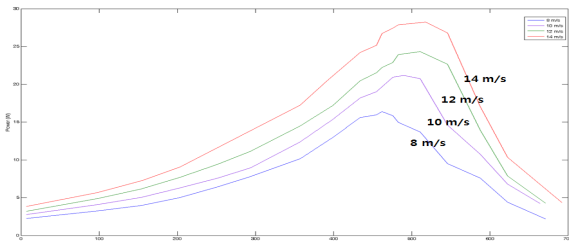


그림 15. 풍속이 변화할 경우 듀티비 대 전력 특성 곡선
Fig 15. The curves of wind turbine output power versus duty ratio corresponding to wind speed

4.2 정적 풍 환경 하에서의 MPPT 알고리즘의 성능 분석
본 절에서는 2장에서 고찰한 MPPT 제어 기법의 풍속의 변화에 따른 추종 특성 및 과도상태 응답특성에 대해 고찰하고자 한다.

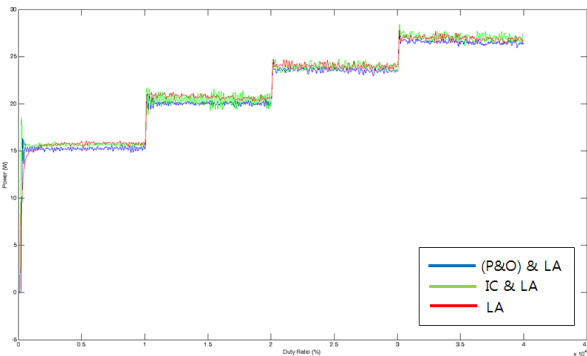


그림 16. 정적인 풍속 모델로부터의 추종 특성
Fig 16. Tracking characteristics of the model corresponding to static wind speed

다양한 MPPT 알고리즘에 대하여 정적인 현태인 풍속 모델을 입력으로 하였을 경우는 위 그림과 같으며 MPPT 알고리즘 중 선형 근사화 기법의 경우가 풍속의 변화에 따른 속응성이 가장 좋음을 알 수 있다. 그러나 그림 16과 같은 풍환경은 이상적인 것으로 실제 풍환경이 고려되지 않았다. 때문에 다음 절에서는 MPPT 알고리즘에 대한 좀더 정확한 제어 성능을 분석하기 위해서 실제 풍환경과 유사한 실효풍속을 만들어 성능실험을 해보았다.

4.3 난류성분이 포함된 풍속하에서의 MPPT 알고리즘의 성능 분석

본 절에서는 실효풍속모델을 이용하여 상기에서 고찰한 다양한 형태의 MPPT 제어 기법에 대한 제어 성능 분석을 수행하였다. 그림 17은 성능분석을 위해 사용된 실효풍속모델을 나타낸 것으로 평균 풍속에 난류 성분이 첨가하여 생성하였다.

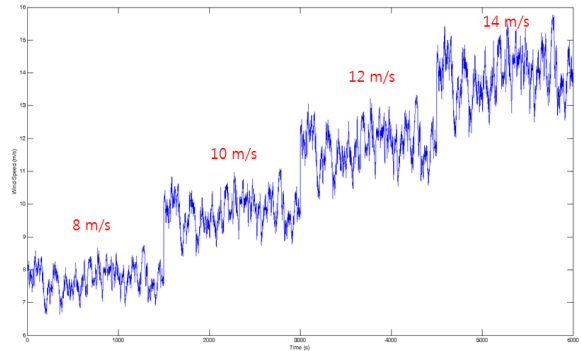


그림 17. 실효 풍속 모델로부터 생성된 풍속 파형
Fig 17. The generated wind speed model from effective wind speed models

실효풍속모델에 대한 각각의 MPPT 알고리즘의 풍속변화에 대한 응답 특성을 나타내면 그림 18과 같다.

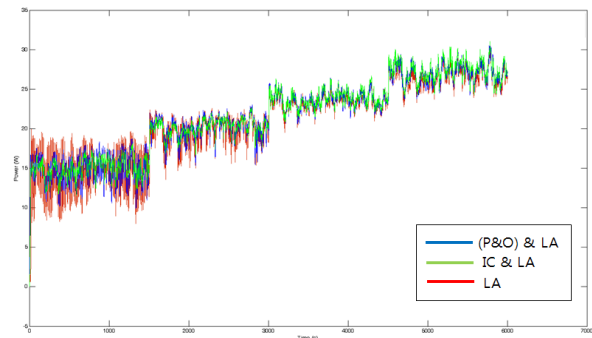


그림 18. 다양한 형태의 MPPT 알고리즘의 추종 특성
Fig 18. The tracking characteristics corresponding to various MPPT methods.

그림 18의 난류성분이 포함된 풍속에 대한 응답특성을 살펴보면 다른 PPT 알고리즘에 비해 IC 기법과 선형 근사화 기법이 융합된 MPPT 알고리즘이 풍속변화에 대한 속응성이 우수함을 알 수 있다.

본 연구에서 고찰된 다양한 형태의 MPPT 알고리즘의 최대 전력점 추종 특성 및 최대 전력점 부근에서의 동작형태의 분석을 위해 시간정보가 생략된 듀티비 대 전력곡선상에서의 응답 특성을 나타내면 그림 19와 같다.

상기 실험은 그림 17과 같이 난류성분이 포함된 풍속의 변화를 고려하였으며, 적용된 MPPT 알고리즘 모두 최대 전력점 부근에서의 동작되는 것을 확인할 수 있다. 단, 그림 18의 실험결과에서 우수한 성능을 보인 IC 기법과 선형 근사화기법을 융합한 MPPT 알고리즘이 최대 전력 점 부근에서 변화하는 폭이 가장 작게 나타남을 확인할 수 있었다.

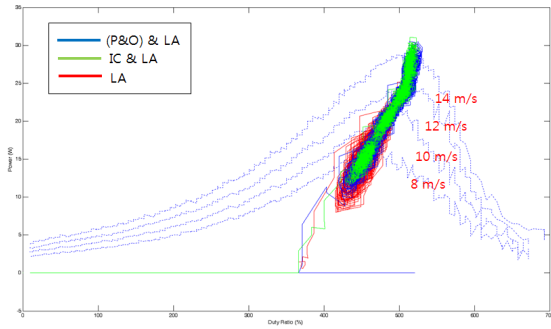


그림 19. 제안된 MPPT 기법의 제어 특성
Fig 19. The control characteristic of the proposed MPPT method

5. 결 론

본 연구에서는 풍력발전 시스템에 적용 가능한 다양한 형태의 MPPT 알고리즘에 대해 고찰하였으며, 실제 제작된 CRIO 기반의 실시간 제어 시스템에의 적용 실험을 통해 고찰된 다양한 형태의 MPPT 알고리즘에 대한 성능을 비교 분석해 보았다. 실시간 제어시스템에서의 성능분석결과 실효풍속모델에서 우수한 성능을 보인 IC 및 선형화기법이 융합된 MPPT 알고리즘이 실제 풍속하에서도 우수한 성능을 보일 것으로 예상할 수 있었다. 향후, 본 연구에서 고찰한 다양한 형태의 MPPT 알고리즘의 장단점을 분석하여 보다 좋은 성능을 갖는 MPPT 알고리즘 개발에 대한 연구를 수행할 계획이며, 객관적인 성능 분석을 위해 좀 더 다양한 실험 환경에서의 적용실험을 진행할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] American Wind Energy Association, AWEA small wind turbine global market study: 2009
- [2] S. Wang, Z. Qi, "State-space averaging modeling and analysis of disturbance injection method of MPPT for small wind turbine generating systems," *IEEE Power and Energy Engineering Conference, APPEEC, Asia-Pacific*, 27-31, March, 2009.
- [3] K. tan and S. Islam, "Optimum control strategies in energy conversion of PMSG wind turbine system without mechanical sensors," *IEEE Trans Energy Conversion*, vol. 19, no. 2, pp. 392-399, June, 2004.

- [4] N. Yamamura, M. Ishida, and T. Hori, "A simple wind power generating system with permanent magnet type synchronous generator," *IEEE PEDS'99*, vol. 2, pp. 849-854, Hong Kong, July 27-29, 1999.
- [5] *Teaching Maximum Power Point Trackers Using a Photovoltaic Array Model with Graphical User Interface*
- [6] *A Comparative Study of Maximum Power Extraction Strategies in PMSG Wind Turbine System.*

저 자 소 개



김수진(Su-Jin Kim)

2009년 : 군산대학교 전자정보공학부 학사 졸업
2009년~현재 : 동 대학원 전자정보공학부 석사과정

관심분야 : 뉴럴 네트워크, DSP, 마이크로컨트롤러, 하드웨어 설계 및 개발
Phone : 010-4758-3978
Fax : 063) 468-6224
E-mail : ilovesujin84@gmail.com



김성호(Sung-ho Kim)

1984년 : 고려대학교 공과대학 학사졸업
1986년 : 고려대학교 대학원 석사졸업
1991년 : 고려대학교 대학원 박사 졸업
1988~1990년 : 고려대 생산기술연구소 연구원
1995~1996 : JAPAN HIROSHIMA UNIVERSITY POST-DOC.

1997년 : 군산대 제어계측공학과 부교수 임명
관심분야 : 뉴럴 네트워크, 퍼지, 센서 네트워크, 공장 자동화 및 오류검출
Phone : 016-610-1224
Fax : 063) 468-6224
E-mail : shkim@kunsan.ac.kr