

## 유체 토크 컨버터를 이용한 정회전 정출력 풍력발전시스템 연구 및 개발

(A Study and Development of the Wind Turbine System for Rated Revolutions and Rated Output using Fluid Torque Converter)

이인열\* · 이강일 · 심충무 · 최대규 · 임재규\*\*

(In-Yol Yi · Kang-Il Lee · Choong-Moo Shim · Dae-Kue Choi · Jae-Kyoo Lim)

### Abstract

Most of existing wind turbine system is used with geared type; however, this type has lots of problems which are noisy, weight, maintenance and so on. In this paper, wind turbine system with fluid torque converter applied to solve these problems. In case of the proposed wind turbine system, it is possible to transmit torque to adaptable distance. So various sets including generator, inverter and auxiliary motor move from the nacelle to the ground. As a result, Total weight in Nacelle can be decreased. however, the efficiency can be decreased with fluid torque system. We also applied auxiliary motor to fluid torque system. So, we also realized rated revolutions and rated output wind turbine and could get considerable good data.

Key Words : Wind-Turbine, Fluid-Torque Converter, Auxiliary Motor, Rated Output, Rated Revolutions

### 1. 서 론

화석연료 부족현상과 환경오염 방지로 인해 신재생 에너지가 각광받고 있다. 그 중 풍력은 가장 효율이 높아 많은 연구개발을 통해 급속도로 발전하고 있다.

- 
- \* 주저자 : (사)한국신·재생에너지연구원
  - \*\* 교신저자 : 전북대학교 공과대학 교수
  - \* Main author : (Corporation) Korea new and renewable energy researcher
  - \*\* Corresponding author : Cheonbuk National University professor
- Tel : 063-270-2321, Fax : 063-270-3950  
E-mail : jklim@jbnu.ac.kr  
접수일자 : 2012년 8월 2일  
1차심사 : 2012년 9월 21일, 2차심사 : 2012년 9월 24일  
3차심사 : 2012년 9월 27일  
심사완료 : 2012년 10월 17일

현재 대형 풍력발전시스템의 대부분은 기어를 사용하여 발전이 이루어지고 있다. 기어형의 경우 소음과 진동이 심하고 유지보수의 어려움이 있다. 모든 풍력발전시스템의 부품들이 상부에 집중되어 있어 기초구조물에 소요되는 비용이 상당부분을 차지하고 있다[1-2].

본 논문에서는 유체토크컨버터 시스템을 이용하여 풍력발전시스템을 연구하였으며 대형 풍력발전이 적용 가능하도록 시스템을 구성하였다. 또한 보조구동모터를 적용하여 정 전압, 정 출력이 가능하도록 하였으며, 이로 인해 무겁고 고가인 인버터시스템이 불필요하여 상부(nacelle)의 무게가 줄어들 뿐 아니라 풍력발전시스템의 단순화로 가격 면에서도 경쟁력 있는 풍력발전시스템을 연구하였다.

## 2. 시스템 개요

### 2.1 가변속 유체토크 컨버터 구조 및 작동 원리

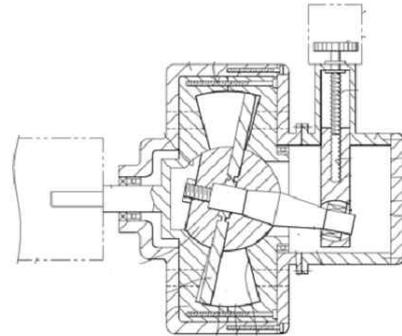
가변속 유체토크 컨버터는 종래의 유체기계를 개량한 것으로서, 유체기계를 가동시켜 펌핑을 수행하는 과정에서 경사 회전체의 각도를 변경시켜 펌핑 유량을 용이하게 가변시킬 수 있으며, 또한 경사 회전체의 각도를 변경시켜 유체의 이송 방향을 전환시킬 수 있고 펌핑을 수행하는 과정에서 경사 회전체의 각도를 수평으로 변경시킴으로서 펌핑 중에 유체의 이동을 신속히 정지시킬 수 있다[3-4].

그림 1과 같이 가변속 유체토크컨버터 구성은 가변용량 유압펌프와 유압모터를 서로 연결하여 구성되어 있으며, 1차측 가변용량 펌프와 2차측 가변용량 모터 사이에 유체가 흐르도록 관으로 연결하고 펌프내의 로터 기울임 각을 조정, 유량을 조절하며 유체의 압력이 로터를 회전시키고 변속조정부의 토크제어장치로 2차측 가변용량 모터 토크를 제어하여 회전수를 조정시킨다[3-4].

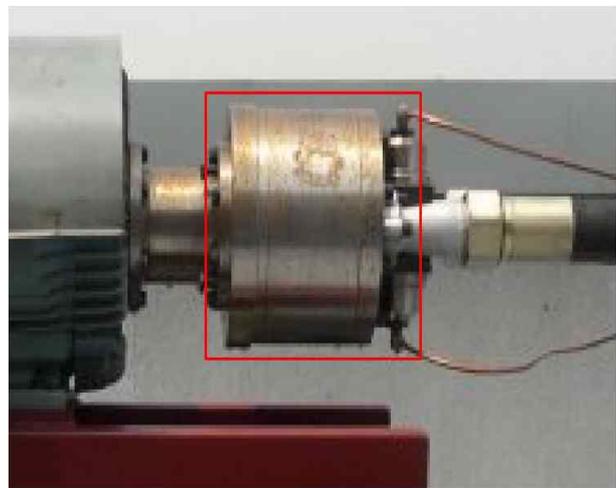
또한 펌핑을 수행하는 회전판이 구비된 경사 회전체의 각도를 용이하게 변경시켜 장치의 작동중은 물론 정지 시에도 펌핑 유량을 용이하게 가변시킬 수 있도록 하는 유량 조절이 가능하며 경사 회전체의 각도를 변경시켜 유체의 이송 방향을 가변시킬 수 있도록 함으로서, 유체를 양 방향으로 이동시키는 양 방향식 유체를 제공하는 효과 및 펌핑 중에 유체의 이동을 신속히 정지시킴으로서 안정된 유체의 차단이 가능하게 하는 효과도 있다[5].

### 2.2 보조구동모터 적용에 따른 정회전 · 정출력

그림 2 (a)와 같이 기존의 풍력발전기와 유체토크컨버터시스템을 적용한 풍력발전기의 구조는 기어박스, 발전기, 인버터, 전력계통으로 구성되어 있다[1,5]. 그러나 본 연구에서는 그림 2.(b)와 같이



(a) 유압펌프 설계도



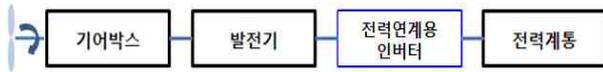
(b) 유압펌프

그림 1. 유체펌프의 모양  
Fig. 1. Shape of Fluid Pump

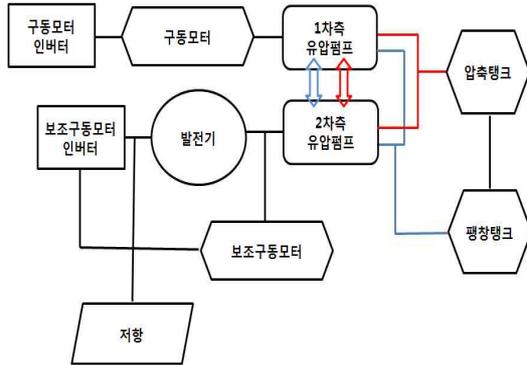
고가의 전력계통형 인버터 대신에 보조구동모터를 활용하여 전력계통에 직접 연계할 수 있도록 시험하였다.

보조구동모터의 특성은 고가의 전력계통형 인버터를 사용하지 않고 송전이 가능하며 발전기 정회전 이상의 압력이 발생했을 때 안전밸브를 통해 발전기 정회전에 필요한 압력 보다 높은 압력은 유체토크컨버터시스템 2차측에 방출하여 발전기가 필요이상 압력에서도 정회전이 가능하다. 또한 일정풍속이상 설계풍속 이하에서는 보조구동모터가 발전기축에 토크를 가감하여 발전기 정회전이 가능하나 다변하는 풍황에 정밀하게 대처할 수 있는 보조구동모터

시스템 구축을 위해 정밀한 모니터링과 제어시스템이 요구된다.



(a) 기존의 풍력발전시스템 계통연계도



(b) 제안된 풍력발전시스템 계통연계도

그림 2. 풍력시스템 계통연계도  
Fig. 2. Grid for Wind Turbine System

### 3. 보조구동모터를 이용한 유체토크 컨버터 실험

#### 3.1 유체토크 컨버터 실험 조건

실험에 적용한 유체토크 컨버터의 용량 및 실험 조건은 표 1과 같다.

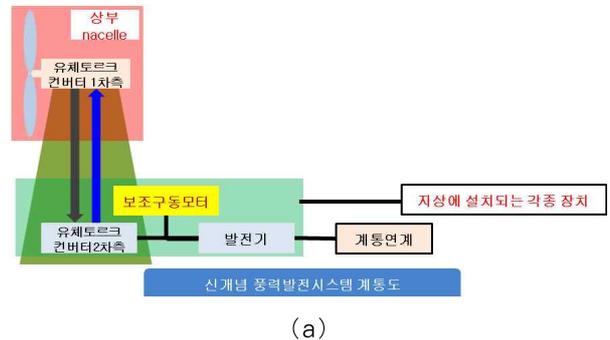
표 1. 실험 조건  
Table 1. Experimental Condition

Basic Data	
유체토크 컨버터 용량	10kW
유압호스 길이/내경	7,400mm/50mm
블레이드용 모터	20kW
보조 구동모터	5kW
발전기	5kW
부하조건	33Ω×6
유압 작동유	ISO VG 32

### 3.2 유체토크 컨버터 실험

본 연구에서는 기존의 유체토크컨버터시스템의 구동의 문제점들을 알아보려고 그림 3과 같은 실험을 하였다.

그림 3은 유체토크컨버터 시스템을 적용한 풍력발전시스템의 개요도와 실제 실험 시스템이다. 본 연구에서는 블레이드 대신 20kW급 모터를 사용하여 유압시스템에 힘을 전달하여 실험하였다[5]. 또한 기존의 유체 토크 컨버터에 보조구동모터를 적용하여 정회전·정출력의 데이터를 얻을 수 있도록 시스템을 설계하였다.



(a)



(b)

그림 3. 전체 시스템 설치 현황  
Fig. 3. Total Wind Turbine System with Fluid Torque Converter

블레이드 역할을 담당하는 20kW 모터를 회전하여 유체토크 컨버터에 힘을 전달하고 1차속유압펌프와

2차측 유압모터를 지나 발전기를 회전하였다. 인버터를 통해 20kW 모터의 회전수를 조절해가며 유압펌프를 통해 발전기에 전달되는 힘을 측정하였다.

발전기에 연결된 보조구동모터는 유압펌프에 전달되는 힘에 따라 회전수를 달리하여 발전기가 상시 일정한 속도로 회전하도록 하였다. 상시 보조구동모터에 의해 일정하게 회전되는 발전기는 정 회전 정 출력이 가능하도록 설계되어 발전기주파수가 일정하도록 하였다.

그림 4는 10kW급 유체토크 컨버터 1차 측과 블레이드 토크 입력 대응으로 사용된 20kW 3상 유도전동기가 연결된 실험 사진이다.



그림 4. 구동모터와 유체펌프 연결  
Fig. 4. Motor and Fluid Pump



그림 5. 압력호스와 발전기연결  
Fig. 5. Pressure Hose and Generator

그림 5는 유체토크 컨버터 1차측과 2차측을 연결해주는 유압 호스와 2차 측 연결 사진이며, 그림 6은 유체토크 컨버터 1차 측의 입력변화에 따른 2차측 출력단의 토크 출력 실험을 위한 각종 파라미터들을 나타내는 것으로 1차와 2차 측 유체의 온도, 1차와 2차의 유압, 2차 측 출력 토크, 2차 측 회전속도, 유체의 유량 등을 표시한다.

그림 6에서와 같이 1차 측 토크 입력 변화에 따른 2차 측 출력 토크가 정확히 전달되어 정상적인 발전기 구동이 가능하였고 밸브 제어에 따라 연속적인 증속 및 감속이 자유롭게 수행되었다.

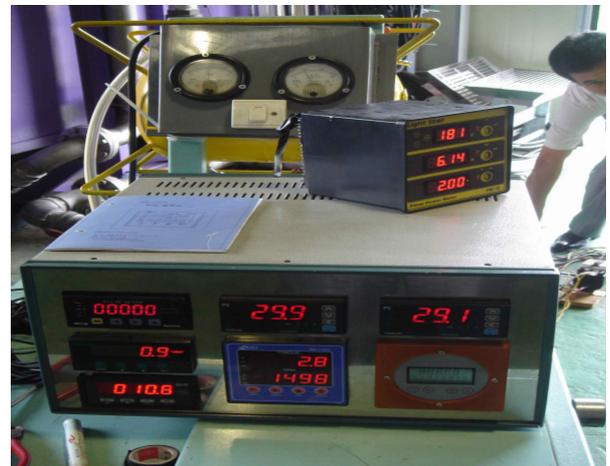


그림 6. 계측기  
Fig. 6. Measuring Instrument



그림 7. 보조구동모터와 발전기 연결  
Fig. 7. Sub Motor Connected with Generator

그림 7에서와 같이 보조구동모터를 발전기에 연결하여 유체토크컨버터를 통해 전달되는 힘에 부족한 힘을 가해줌으로서 항상 일정한 회전수를 유지시킬 수 있도록 하였다. 보조구동모터로 인해 저 풍속에서도 일정한 전력생산이 가능하여 효율을 증대시킬 수 있으며 또한, 정격풍속 이상의 압력에서도 필요압력이 상은 압력 밸브를 통해 유체토크컨버터시스템 2차 측으로 방출하여 정 회전, 정 출력 발전이 가능하다.

### 3.3 유체토크 컨버터 출력 실험결과

그림 8은 풍량에 따른 회전수 대신에 인위적으로 모터를 설치하여 발전기를 회전하도록 한 후의 회전수-소비전력 곡선이다. 구동모터RPM은 풍속으로 고려하여 실험하였고 이에 따른 구동모터의 전력소비량을 발전기부하시와 무부하시 측정하여 RPM변화에 따른 모터의 소비전력특성을 확인하였다. 그림 9에서 알 수 있듯이 발전기에 부하를 부여하였을 시에 전력소모량이 급격히 상승되는 것을 확인하였고, 또한 600rpm 이상의 회전속도에서 소모 전력이 급격히 증가됨을 확인하였다. 모터와 발전기의 효율을 각각 85%, 95% 일 경우, 유체토크 컨버터시스템의 효율은 약 40%정도로 확인되었다.

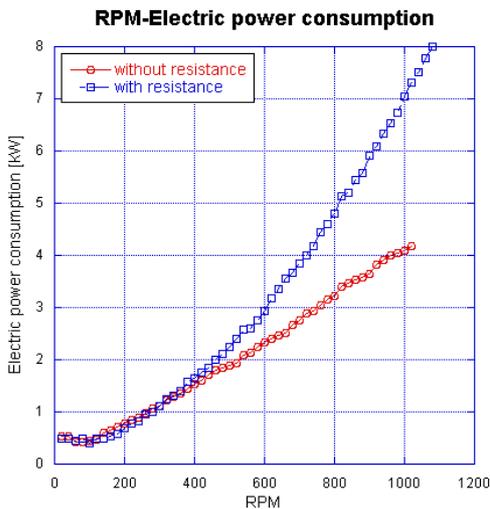


그림 8. RPM - 전력소비량 그래프  
Fig. 8. RPM-Electric Power Consumption Curves

그림 9는 RPM-Torque 그래프로 발전기부하시와 무 부하일 경우로 나누어 실험을 진행하였다. 무 부하의 경우 200rpm 이후부터 토크 값의 증가율이 낮아짐을 확인할 수 있었다. 부하시의 경우, 1차 곡선에 가깝도록 토크 값이 일정하게 상승함을 알 수 있었다.

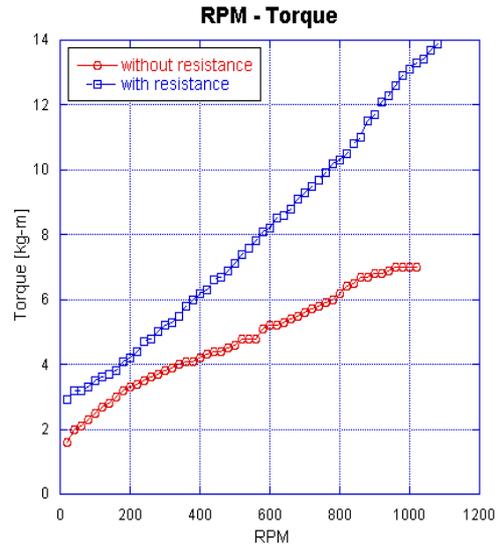


그림 9. RPM-토크 그래프  
Fig. 9. RPM-Torque Curves

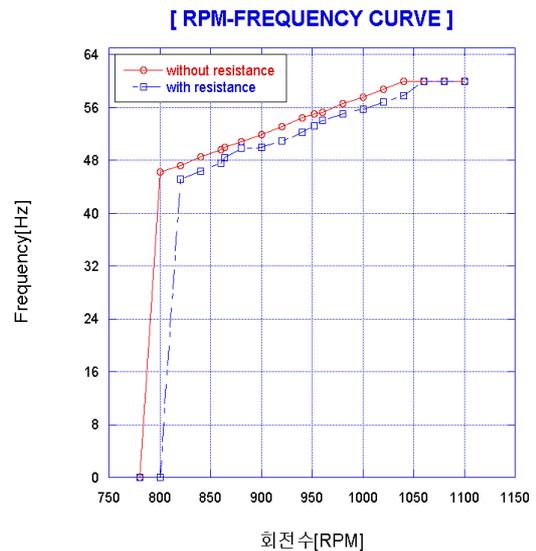


그림 10. RPM-주파수 그래프  
Fig. 10. RPM-Frequency Curves

그림 10은 구동모터의 회전수증가에 따른 발전기주파수증가시험을 한 것으로 RPM-Frequency(구동모터-발전기주파수)를 그래프로 나타내었다. 구동모터의 회전수를 0~1060rpm까지 10rpm 단위로 조절하여 가며 측정하였으며, 실험결과 회전수가 800rpm까지는 주파수가 48Hz까지 급격히 증가하고 800rpm 이후부터는 일정한 비율로 증가하고 있으며, 2.73kW를 발전하기 위해서는 4kW 정도의 소비전력이 발생함을 확인할 수 있었다.

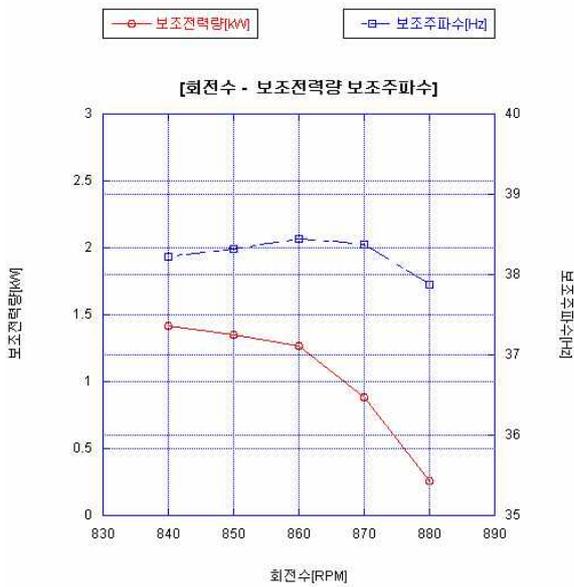


그림 11. RPM-보조구동모터 전기소비량 그래프  
Fig. 11. RPM-Sub Motor Electric Consumption Curve

그림 11에서는 발전기의 주파수를 50Hz로 일정하게 유지하도록 한 뒤, 구동모터의 회전수(풍력)에 따라 보조구동모터의 소비전력과 그에 따른 발전기주파수를 그래프로 표현하였다. 일정한 발전을 하는 경우 모터의 회전수가 증가할수록 보조구동모터의 소비전력이 급격히 감소됨을 확인할 수 있었다. 구동모터회전수가 840~860rpm까지는 보조구동모터의 전력소모량이 조금씩 감소하다가 860rpm 이상의 회전수에서는 급격히 보조구동모터의 전력소모량이 작아짐을 알 수 있었다. 보조구동모터를 사용하지 않을 경우 880rpm에서의 소비전력은 6kW 정도이며, 주파수는 48Hz에

도달하지만 보조구동모터의 소비전력 0.25kW로 발전기주파수를 50Hz로 상승시켰으며, 구동모터회전수를 20rpm정도의 상승효과를 얻을 수 있다는 것을 확인하였다.

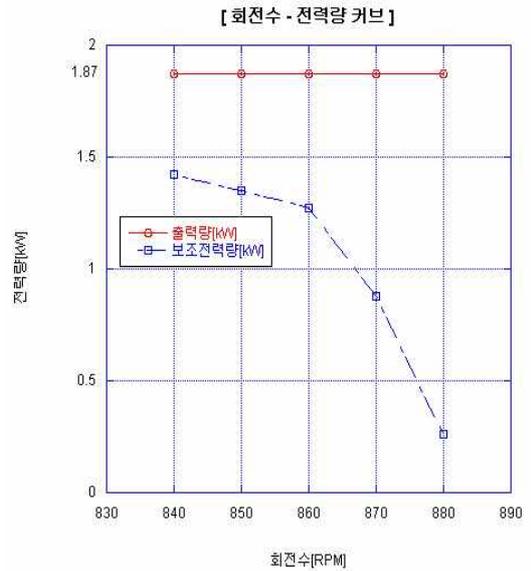


그림 12. 구동모터 RPM-보조구동모터 전력소모량 그래프  
Fig. 12. RPM-Electric Power Curve

그림 12에서는 발전기 50Hz-1.87kW를 발전할 경우 구동모터회전수에 따른 발전기출력량과 보조구동모터의 소비전력을 그래프로 나타낸 것이다. 구동모터회전수에 따른 발전기출력량은 변하지 않으나 보조구동모터의 전력소비량이 구동모터회전수 증가에 따라 급격하게 감소하는 것을 확인할 수 있다.

그림 13은 실험을 통해 보조구동모터를 사용하여 발전기의 출력을 일정하게 유지하기 위해서 보조구동모터의 전기 소모량을 측정하고 보조구동모터의 제어 주파수와 의 관계를 확인하였다. 보조구동모터를 사용함으로써 발전기의 주파수를 50Hz로 일정하게 유지하는 것이 가능하였고 구동모터 RPM이 증가하여 발전기의 주파수가 50Hz에 가까워질수록 보조구동모터의 주파수는 일정하게 유지되었지만 보조구동모터 전력소모량은 급격히 감소하였다. 구동모터와 발전기의 효율을 각각 85%,

95%로 놓고, 주파수를 일정하게 유지시키기 위해 보조구동모터를 사용하였을 경우에 기존 유체토크 컨버터 시스템만 사용했을 때 보다 미미하게 효율이 증가하는 것을 알 수 있었다. 효율증가원인을 규명하기 위해서 더 정밀한 유체토크시스템으로 실험할 예정이다.

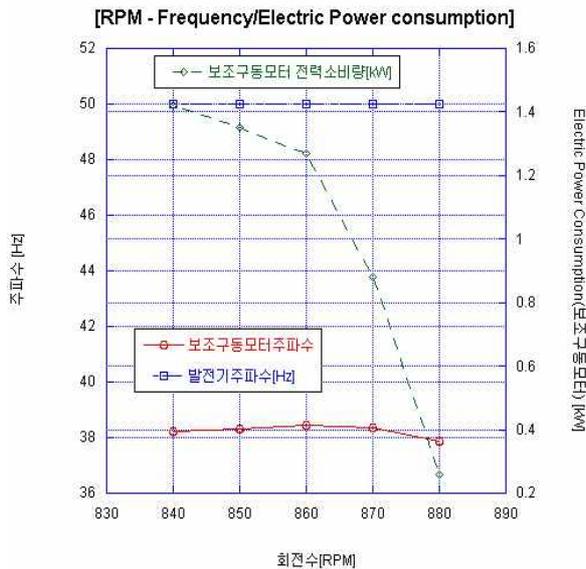


그림 13. 구동모터RPM-보조구동모터주파수/전력소비량 그래프  
Fig. 13. RPM-Frequency/Electric Power Consumption Curve

#### 4. 결 론

유체토크컨버터시스템에 보조구동모터를 이용하여 정 회전, 정 출력을 발생시키고 효율을 향상시킬 수 있었으며 실험을 통해 얻어진 결론은 다음과 같다.

- (1) 유체토크컨버터시스템을 사용할 경우 소비전력 대비 발전전력이 평균 40%로 나타났으며, 효율 증대를 위해 유압조절판 표면의 정교한 가공 및 열 손실 감소를 통한 효율증대를 순차적으로 적용할 것이다.
- (2) 5kW급 발전기 50Hz로 일정하게 조절하기 위하여 Auxiliary Motor를 사용하여 발전기의 부족

한 주파수를 보충하며 실험한 결과 보조구동모터 제어주파수 37~39Hz로 발전기주파수를 50Hz로 보상할 때, 0.2kW~1.4kW 정도의 보조구동모터의 전력소비만으로 발전기주파수를 일정하게 하였다. 또한 기존 유체토크컨버터 시스템만 사용했을 때보다 효율이 약간 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 이는 풍력발전 적용 시 일정풍속 이상에서 소량의 보조구동모터의 전력소모만으로 발전기주파수를 일정하게 맞출 수 있으며 또한 효율상승의 효과를 얻을 수 있다고 판단된다.

- (3) 정 회전 정 출력 발전을 위해 적용한 보조구동모터로 발전기의 주파수를 일정하게 하기 위해 실험한 결과 구동모터회전수가 증가하면 보조구동모터주파수 값이 미세하게 변동함을 알 수 있었다. 이를 개선하기 위해서 자동제어가 필요하며 문제점을 개선하는 방법을 추후 연구하고자 한다.

#### 감사의 글

본 연구는 전라북도 도비지원 R&D 사업(신성장 연구사업)으로 수행된 연구결과이며, 또한, 교육과학기술부와 한국연구재단의 지역혁신인력양성사업사업으로 수행된 연구결과이다.

#### References

- [1] Erich, Hau. Windturbines. Springer. 2000.
- [2] Entrance of Windengineering written by Ushiyama. Jointly translated by Ko Kyongnam and Huh Chongchul. Unundang publisher. 3. 2006.
- [3] Jointly stock Philtec Company. Hydraulic mechanic for variable flow quantity. Patent no, 10-2006-0014845. 8. 2007.
- [4] Jointly stock Philtec Company. Hydraulic pressure motor for fixed vane. Patent no, 10-2006-0045682. 8. 2007.
- [5] Korea Wind Energy Association collections of thesis Windturbine system by using fluid torque converter. Prof Kim Dong yong and 4 others.

◇ 저자소개 ◇



**이인열 (李仁烈)**  
1948년 4월 30일생. 2008년 전북대학교 졸업(석사). 2011년 전북대학교 박사수료. 2010년 4월 (사)한국신·재생에너지연구원.  
Tel : (062)945-5141  
E-mail : yil19482000@hanmail.net



**이강일 (李康一)**  
1982년 11월 20일. 2010년 전북대학교 졸업. 2012년 전북대학교 졸업(석사).  
Tel : (063)270-3583  
E-mail : ekuni82@naver.com



**심충무 (沈忠茂)**  
1983년 4월 29일생. 2011년 전북대학교 졸업. 2012년 전북대학교 석사제학.  
Tel : (063)270-3583  
E-mail : tlacondan@nate.com



**최대규 (崔大奎)**  
1952년 10월 3일생. 1973년 한양대학교 졸업(석사). 1980년 독일 Stuttgart 대학 졸업(박사). 1981년~현재 전북대학교 공과대학 교수.  
Tel : (063)270-2263  
E-mail : dkchoi@chonbuk.ac.kr



**임재규 (林載奎)**  
1949년 2월 25일생. 1977년 전북대학교 졸업(석사). 1994년 일본 도호쿠대학 졸업(박사). 1980년~현재 전북대학교 공과대학 교수.  
Tel : (063)270-2321  
E-mail : jklim@jbnu.ac.kr