

# 풍력발전용 벨트-풀리식 무단변속증속기의 성능평가 Performance Analysis of Belt-Pulley type CVT System for Wind Turbine

\*김노원<sup>1</sup>, #김성렬<sup>1</sup>, 황경환<sup>1</sup>, 안중환<sup>2</sup>

\*R.W. Kim,<sup>1</sup> #S.R. Kim(sungrkim@kitech.re.kr)<sup>1</sup>, H.K. Hwang<sup>1</sup>, J.H. Ahn<sup>2</sup>

<sup>1</sup>한국생산기술연구원, <sup>2</sup>부산대학교 기계공학부

Key words : Continuously Variable Transmission, Belt-Pulley, Wind Turbine, Performance evaluation

## 1. 서론

중·소형의 풍력 발전기는 블레이드에 영향을 주는 바람의 변동성 및 설치 장소의 제약으로 인해 블레이드의 사이즈가 제한적이어서 에너지 효율이 대형에 비해 낮다. 일반적인 증속기는 15~30rpm 정도로 회전하는 저회전, 고토크의 풍력에너지를 1000rpm~3600rpm사이의 고회전, 저토크로 변환하지만, 풍속이 25m/sec 이상이 되면 과부하로 인한 풍력발전기의 손상을 막기 위해 발전을 멈추도록 되어 있다. 그러나 본 연구에서 개발한 무단 변속 증속기는 급격한 풍속 변화에도 큰 부하 변동 없이 안정적인 발전이 가능하여 발전효율을 높일 수 있는 장점이 있다.

벨트-풀리식 무단변속 증속기는 메탈 벨트타입과 고무 벨트타입으로 나눌 수 있으며, 메탈 벨트는 습식 타입으로 대용량 동력원이 가능하나 구조가 복잡하고 고무 벨트는 건식 타입으로 용량은 작으나 비교적 구조가 간단하고 벨트가 가벼워 메탈 벨트에 비해 RPM이 높다.

본 논문에서는 소형 풍력발전기에 적용 가능한 고무 벨트-풀리식 무단 변속 증속기를 제작하여 구동축 RPM 변화에 따른 중동축 RPM과 Torque가 무단 변속되는 출력 특성을 분석하였고, 또한 무단 변속 증속기 성능 평가를 위한 시험기를 구성하였다.

## 2. 벨트-풀리식 무단변속 증속기

Fig. 1은 벨트-풀리식 무단 변속 증속기의 구조를 보여주며, 가동 풀리의 이동에 따라 벨트가 상하로 이동되면서 벨트의 지름이 변화되어 무단 변속이 자동적으로 이루어진다. 개발된 증속기의 최대 토크는 50 · 이고 중동축 회전수는 1000rpm이 되도록 설계했다. Fig. 2는 입력 RPM 대비 출력 RPM 선도로서 중동축 1000rpm이 유지되기 위한 구동축 RPM은

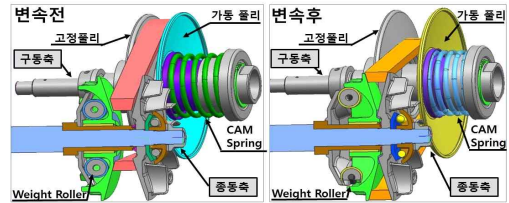


Fig. 1 Structure of belt-pulley CVT type gearbox for small wind turbine

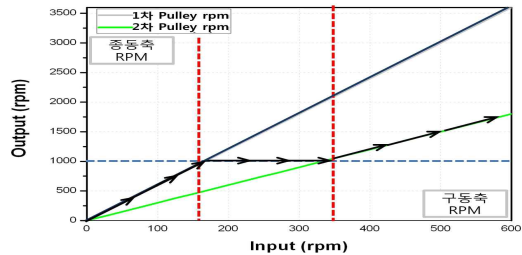


Fig. 2 Design of velocity curve for belt-pulley CVT type gearbox

150~350rpm으로 중동축 풀리의 Weight roller는 구동축의 Spring force가 일정 수준에 도달하기까지 고정되고, 풀리의 1차 RPM선도를 따라 증가하게 된다. 일정 속도에 도달하면 Spring force와 CAM각도, 중동축의 Weight roller의 원심력에 의해 벨트의 직경이 유지됨에 따라 1000rpm으로 일정하게 되며 자동 변속 구간을 벗어나게 되면, 풀리의 2차 RPM선도를 따라 다시 증속된다. 가변 증속비는 0.45~6이고, CVT의 구동축에 연결된 유성 기어비는 20으로 고정되어 있으며 급격한 풍속의 변화에 안정적으로 동작하기 위해 Torque CAM의 각도는 5°로 설정했다.

## 3. 실험방법

풍력발전용 벨트-풀리식 무단변속 증속기의 성능 평가를 수행하기 위해 Fig.3과 같은 시스템을 구

성하였다. 성능 평가 시스템은 서보모터의 Torque 제어를 통해 증속기를 구동하고 증속기 입력단과 출력단에 Torque센서를 부착하여 입력 회전수 30~210rpm에 대한 증속기의 출력 RPM과 Torque 변화를 측정하였고, 발전기에 연결된 저항의 유무에 따라 무부하와 부하로 나누어 실험하였다. 부하 실험은 161.1Ω, 241.8Ω, 483Ω의 권선 저항을 발전기에 연결하고 전류센서를 통해 전력량을 측정 하였다. 각 센서를 통해 측정된 데이터는 DAQ(Data acquisition) board를 통해 수집되고 측정된 값과 모터의 회전속도 등의 제어값은 LabVIEW로 작성한 프로그램 화면에 표시되도록 하였다.

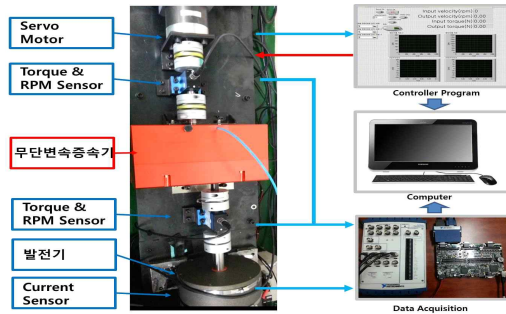


Fig. 3 Configuration of performance evaluation for belt-pulley CVT type gearbox

#### 4. 결과

벨트-풀리식 무단 변속 증속기의 기동토크는 15 N·m (Fig. 4-(a))이고, 발전기와 체결 했을 때의 기동 토크는 19.5 N·m 로 측정되었다.(Fig. 4-(b)) Fig. 4-(c) 는 부하에 따른 토크 및 RPM의 출력 변화를 나타낸 것으로 증속기의 구동축 회전수 30~210rpm에 대해 무부하시 증속비는 1:6이며, 483Ω의 부하를 사용할 시 입력구간 150~210rpm에서 약 950rpm의 출력이 유지되었다. Fig. 4-(d)는 구동축에서의 토크 측정값으로 회전수의 증가에 따라 토크는 증가되고 무단 변속 구간에서는 토크가 일정함을 알 수 있다. 중동축의 토크는 부하에 따라 초기 증가하는 경향을 보이지만 무단변속구간에서는 일정함을 알 수 있다.(Fig. 4-(e)) Fig. 4-(f)는 부하 변화에 따른 전력량 곡선으로 부하가 클수록 전력량은 많지만 입력 RPM이 높아야 안정된 전력을 발생함을 알 수 있다.

#### 5. 결론

본 연구는 소형 풍력발전기에 적용 가능한 벨트-풀리식 무단변속 증속기와 이의 성능평가를 하기

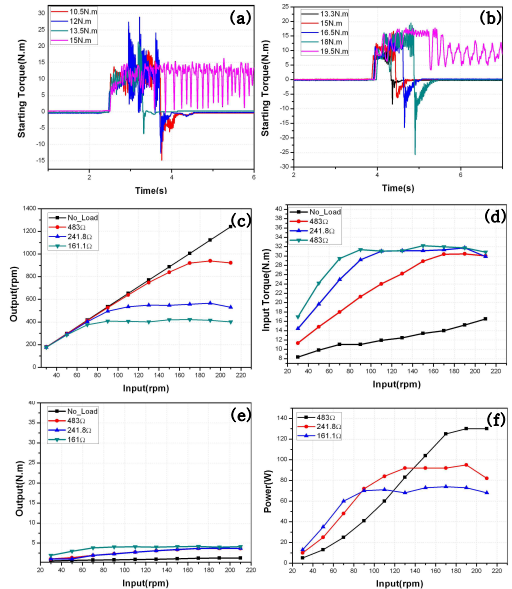


Fig. 4 (a) Starting torque without generator (b) Starting torque with generator (c) Output changed in response to various inputs (d) Input torque and (e) Output torque (f) Power Generation for belt-pulley CVT type gearbox

위한 시스템을 구성하였다. 증속기의 구동축 입력 회전수 30~210rpm구간에서 가변 증속되고 150rpm 이상에서 1000rpm으로 유지 하도록 제작 되었으나, 유성기어 및 동력 전달 부품간의 마찰 등의 기계 손실 발생으로 인해 약 950rpm으로 유지되었으나, 일정 속도 유지 구간에서는 토크도 일정하게 유지 되어 안정적인 발전량을 보임을 확인하였다.

따라서, 무단변속입력 RPM 구간에서 출력 RPM 이 일정하게 유지될 수 있어 기존 증속기에 비해 풍속의 변화에 관계없이 동력 효율을 높일 수 있을 것으로 기대된다. 향후, 가변 풀리의 정밀 위치제어를 위해 엔코드 일체형 모터가 장착된 무단변속 증속기를 개발할 예정이다.

#### 참고문헌

1. Nilabh Srivastava, Imtiaz Haque, "A review on belt and chain continuously variable transmissions (CVT): Dynamics and control" Mechanism and Machine Theory, 44, 19-41, 2009.
2. Youngjun Park, Jaejeong Lee, Geunho Lee, Yongyun Nam, "Preliminary study on the Condition Monitoring of Wind-turbine Gearbox", 한국신재생에너지학회, 343-346, 2008