

Strain gauge를 이용한 베어링 변형 감시시스템 Bearing Deformation Monitoring System with Strain gauge

*서정모¹, #김성렬², 김철민², 하경남²

*J. M. Suh¹, #S. R. Kim(sungrkim@kitech.re.kr)², C. M. Kim², K. N. Ha²

¹ 부산대학교 기계공학부, ² 한국생산기술연구원

Key words : Strain gauge, Pitch Bearing, Monitoring System

1. 서론

풍력 발전 시스템은 예측하기 어려운 다양한 극한 환경 조건 속에서 운전되며, 20년 이상의 신뢰성이 보장되어야 하는 기기이다. 따라서 각 구성요소에 미치는 하중 및 비틀림 등에 대한 정보를 획득하여 이를 설계 단계에서 반영하거나, 계속적으로 모니터링하여 신뢰성을 확보하는 작업이 반드시 포함되어야 한다.

특히, Pitch 베어링은 높은 하중 상태에서 회전력을 지지해야 하므로 베어링 자체가 외부 하중조건에 따른 다양한 하중조건, 즉, 반경방향 하중, 축 방향하중과 굽힘 모멘트를 동시에 받아야 하는 가혹한 조건에서 사용되고 있다. 따라서 블레이드의 하중 내지는 자중, 외부에서의 힘에 의해 한계이상으로 베어링의 외륜이 변형하게 되면 베어링 내의 볼에 높은 하중이 걸리게 되고 이는 곧 Pitch 베어링의 수명 단축으로 이어지게 된다. 또한 베어링 구조물의 결합 등에 집중하중이 가해져 그 부위의 파손을 초래하기 때문에, 표면 크랙 검출 장치와 더불어 베어링의 구조물 변형 측정을 통해 베어링의 강성을 측정하는 장치가 필요하다.

구조물의 안전을 확보하기 위해서는 결합의 상태 및 응력, 스트레인이 어떤 부분에 어떻게 존재하는가를 아는 것이 매우 중요하다. 스트레인 측정은 기계나 구조물을 설계할 때 부재의 치수, 형상, 재료의 적부를 판단하거나 제작된 기계나 구조물이 사용 중 파손, 변형되지 않도록 감시하는 데 이용된다. 본 연구에서는 전기저항 스트레인 게이지를 이용하여 Pitch 베어링의 변형률을 측정, 감시할 시스템을 개발하였다.

2. 시스템 개요

2.1 응력 스트레인 측정을 통한 변형 측정

전기저항 스트레인 게이지의 원리는 금속선이 인장될 때 길이와 단면적의 변화에 따른 저항의 변화를 이용하는 것으로 이 저항의 변화량을 전기적으로 측정하여 금속선의 스트레인을 알 수 있다. 스트레인 계측은 휘트스톤 브릿지 원리에 기본을 두고 있다. 휘트스톤 브릿지는 4개의 저항이 연결된 형태로 1개 또는 그 이상의 저항을 이용하여 센싱에 사용된다. Fig. 1은 기본적인 휘트스톤 브릿지의 회로도를 나타낸다. 이 회로는 다음 식을 만족 할 때 출력이 $e=0$ 이 된다.

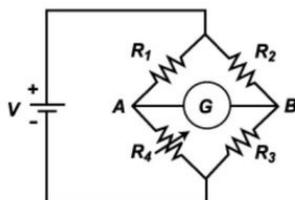


Fig. 1 Basic Wheatstone Bridge Circuit Diagram

먼저 브릿지의 평형을 잡아 식(1)이 성립하도록 한 후 각 변의 저항에 $\Delta R_1, \Delta R_2, \Delta R_3, \Delta R_4$ 의 저항 변화가 생기면 e 는 식(2)와 같이 된다. 실제의 스트레인계에서는 $R_1 = R_2$ 상태의 것이 사용되는 경우가 많은데, 이때 식(2)는 식(3)과 같이 된다. 전기저항 스트레인계에서는 식(2), 식(3)이 주로 사용되고 브릿지의 조합방법에 따라 여러 실험방법이 있으나 기본적인 것은 Table.1과 같다.

$$R_1 R_3 = R_2 R_4 \tag{1}$$

$$e = \frac{R_1 R_2}{(R_1 + R_2)^2} \left(\frac{\Delta R_1}{R_1} - \frac{\Delta R_2}{R_2} + \frac{\Delta R_3}{R_3} - \frac{\Delta R_4}{R_4} \right) E \tag{2}$$

$$e = \frac{1}{4} \left(\frac{\Delta R_1}{R_1} - \frac{\Delta R_2}{R_2} + \frac{\Delta R_3}{R_3} - \frac{\Delta R_4}{R_4} \right) E \tag{3}$$

Table. 1 Strain-gauge Configurations

Configuration	Number of Active Elements
Quarter - Bridge	1
Half - Bridge	2
Full - Bridge	3

2.2 변형 측정 시스템 구성

Pitch 베어링의 강성 측정 시스템을 개발하기 위해 NI사의 CompactRIO 시스템을 사용하였다. 이 시스템의 장점은 크기가 작아 이동성이 뛰어나며, 각각의 어플리케이션이 모듈로 제공되기 때문에 필요한 모듈을 통해 시스템 구성이 쉽고, 시스템 확장성이 뛰어나다. 또한, FPGA 프로그래밍을 통해 개발시간 단축 및 현장에서 오류를 재수정할 수 있는 장점이 있다. Fig. 2은 강성 베어링 강성 측정 시스템의 구성도를 나타낸다. Table. 2는 Pitch 베어링 강성 측정 시스템에 사용된 각 기기의 스펙을 나타낸다. 컨트롤 장치와 브릿지 회로 모듈은 NI사의 제품을 사용하였으며, 스트레인 게이지는 KYOWA 사의 것으로 120Ω의 Quarter - Bridge 형을 사용하였다.



Fig. 2 Structure of Pitch Bearing Deformation Monitoring System

Table. 2 Specification of Monitoring System

System component	Specification
Data acquisition	NI cRIO
Bridge module	NI 9237, 50kS/s, 25mV/V
Strain gauge	120Ω, 11.7 PPM/°C, GF: 2.09± 1.0%

2.2 변형 측정 시스템 프로그래밍

CompactRIO 프로그래밍의 기본 구조는 Fig. 3과 같다. PC는 Host 역할로 리얼타임 시스템의 사용자 인터페이스를 포함하고 있으며 각 모듈로부터 받는 데이터를 사용자로 하여금 확인하게 하고, 그에 따라 행동을 요구할 수 있게 해준다. Real-Time 시스템을 통해 모든 제어업무와 모니터링을 처리하게 한다. 그리고 FPGA를 통해 필요에 의해 정의된 I/O 또는 제어를 구현, 실행하게 된다. Pitch 베어링 강성측정 시스템 프로그램은 다음과 같이 제작되었다. 설정부에는 각 Birdge type과 Gage Factor, Poisson's

Ratio, Gage Resistance, Lead Resistance 의 수치를 설정할 수 있고, 스트레인의 초기값 정보를 획득하기 위한 Unstrain Measurement, 스트레인 측정을 위한 Strain Measurement로 구성하였다. 그리고 4개의 디스플레이 창과 4개의 수치 창을 통해 현재 스트레인 값을 확인 할 수 있도록 하였다.

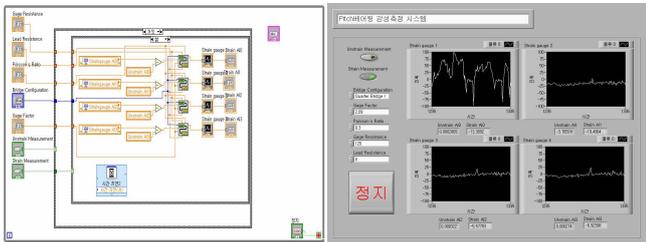


Fig. 3 Program of Pitch Bearing Deformation Monitoring System

3. 실험장치와 실험내용

3.1 실험 방법 및 조건

Pitch 베어링 변형 측정 시스템의 성능 확인 및 작동을 위해 다음과 같이 실험을 실시하였다. 구조는 베어링을 지지 할 수 있도록 총 4곳의 고정대와 베어링에 힘을 직접적으로 가할 수 있게 하는 압력부로 구성하고, 가압 장치 하부에 Force 센서를 부착하여 현재 베어링에 가해지는 힘을 측정하고 이때 발생하는 스트레인을 측정할 수 있도록 하였다. 실험방법은 반원 상태의 디스크에 스트레인 게이지를 4개 부착한 후, 고정되어 있는 부분의 반대편 부분에 힘을 가하여 디스크에 작용하는 힘과 변형률을 측정하였다. 측정주파수는 10Hz로 설정하여 데이터를 수집하였다. 정하중 인가 시험은 10N, 20N의 추를 사용하여 정하중을 가하여 변형률을 측정하였고, 임의의 동하중을 가하여 그 때의 가해진 힘과 변형률을 측정하였다. Fig. 4는 실험구성도로 힘을 가한 부위와 스트레인 게이지 부착위치를 나타내었다.

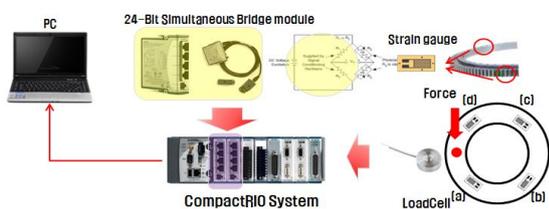
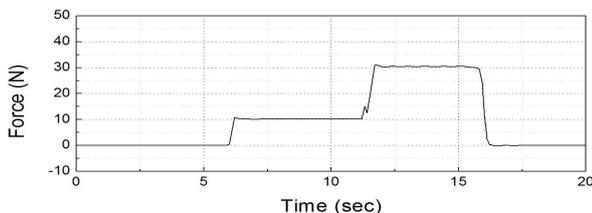


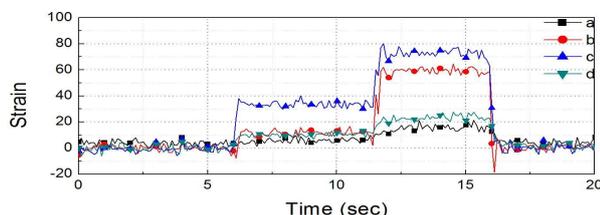
Fig. 4 Experiment of Pitch Bearing Deformation Monitoring System

3.1 정하중 실험 시 변형률 측정

Fig. 5는 정하중 실험 시 가압 부분과 베어링의 각 부분의 변형률을 확인할 수 있다. 현재 실험은 외팔보 형태의 실험이기 때문에 가압이 이루어지는 부위 근처인 (a),(d)의 변형률이 크게 나타났고, (c), (d)에서는 상대적으로 작게 나타났다.



(a) Applied Force

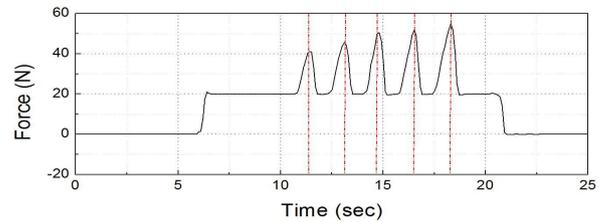


(b) Strain of Bearing

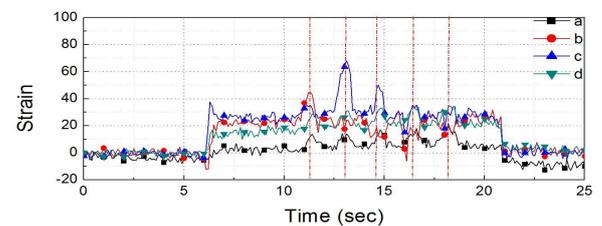
Fig. 5 Strain Measurement for Static Force

3.2 동하중 실험 시 변형률 측정

Fig. 6은 동하중 실험 데이터로 동하중 실험 역시 정하중과 마찬가지로 가압부와 가까운 (a), (d) 부분의 변형률이 높게 측정되었다. 그리고 스트레인게이지의 부호 또는 기울기를 통해 베어링 각 부분에 작용하고 있는 힘이 압축 또는 인장 인지를 확인할 수 있었다.



(a) Applied Force



(b) Strain of Bearing

Fig. 6 Strain Measurement for Dynamic Force

4. 결론

풍력 발전기의 Pitch 베어링의 변형률 측정을 위한 Strain Gauge를 이용한 베어링 변형 감시 시스템 개발을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 변형률 측정을 위해 NI CompactRIO 시스템을 controller로 사용하여 스트레인 게이지 모듈을 이용, 변형 감시 시스템을 구성하였다.
- 2) 변형률을 감시하기 위해 LabView를 통하여 각 스트레인 게이지를 실시간으로 측정할 수 있도록 프로그램 하였으며, 스트레인 게이지에 대한 설정을 할 수 있도록 하였다.
- 3) 정, 동하중 실험을 통하여 베어링 각 위치에 대한 변형률을 측정할 수 있었고, 변형률 그래프의 부호, 기울기를 확인하여 각 부위에 작용하는 힘이 인장 또는 압축인지 확인할 수 있었다. 풍력 발전용 Pitch 베어링은 그 형상 크기가 외경이 최대 3500mm으로 매우 크며, 작동 시 베어링이 회전하게 된다. 따라서 기존의 Wire-type의 스트레인 게이지를 통해서 측정하기에 한계가 있기 때문에 이를 극복하기 위해 WLS(Wireless)-type의 변형률 감시 시스템의 구성이 필요할 것으로 보인다.

후기

본 연구는 동남 광역경제권 선도산업의 지원으로 수행 되었음

참고문헌

1. 안석환, 남기우, “고주파 담금질에 의한 SCM440 강의 기계적 특성에 관한 연구,” 한국해양공학회지 제 23권 제2호, pp74-80, 2009.
2. 김철우, "Strain gauge를 이용한 선박 추진 축계 베어링 반력의 측정 및 분석에 관한 연구," 한국 해양대학교, 2006.
3. 이승렬, 이영제, 김청균, “대형구름베어링의 접촉형태가 응력 분포에 미치는 영향에 관한 연구,” 한국윤활학회, 학술강연회 제21권, pp54-64, 1995