

## 다양한 운전조건을 고려한 2MW 풍력증속기의 성능평가

조 준행<sup>1)</sup>, 박 구하<sup>2)</sup>, 문 병선<sup>3)</sup>

### A Performance Assessment of 2MW Wind Turbine Gearbox by Considering Various Operating Conditions

Joonhaeng Jo, Kooha Park, Byungsun Moon

**Key words** : vibration(진동), oil cleanliness(오일청정도) performance(성능), wind turbine gearbox (풍력증속기), misalignment(정렬불량), bearing(베어링), gear(기어), test bench(시험장치)

**Abstract** : Wind turbine gearbox is a complex mechanical system that includes gear trains, shafts, bearings, and gearbox housings. All these components are interacting with each other therefore it is important to assess the whole performance by considering the individual component design. In this paper, the performance assessment of 2MW wind turbine gearbox was conducted under various operating conditions at test bench and test result was compared with the design calculation.

#### 1. 서 론

풍력발전용 기어박스의 기술적 특징으로는 입지 요건에 따른 설계 가변성, 유지/ 보수 및 고공 설치 요건에 따른 최소화 설계, 바람에 의해 발생하는 변동하중에 대한 고려, 돌풍 등에 따른 과도상태 하중 고려, 그리고 발전기로부터 발생된 외란, 단락 등에 대한 고려 등이 있다. 그리고 마이크로 피팅(Micro pitting), 정렬불량(Misalignment) 등에 의해 예기치 못한 수명 소모가 조기 발생할 시에는 어려움을 겪을 수 있는 위험요소가 높은 기술적 특성이 있다. 풍력발전시스템의 주요 구성기기 중에서 기어박스는 유지보수와 고장 시 수리하는데 많은 비용이 소요되어 높은 신뢰성이 요구된다. 최근에는 설계, 제조기술의 고도화를 도모하고 있으며, 전용 부하시험설비, 전용 모니터링 시스템 등을 구축하여 드라이브 트레인의 동적 안정성을 유지하고 기어박스의 신뢰성을 확보하기 위한 노력을 기울이고 있는 추세이다. 본 연구에서는 '국제 기술 제휴 및 협력에 의한 2MW급 풍력발전시스템 상용화 개발'의 일환으로 국산화 개발된 2MW 풍력발전용 기어박스에 대한 성능시험을 통하여 평가된 결과를 소개하고자 한다.

#### 2. 2MW 풍력발전용 기어박스 성능시험

##### 2.1 기어박스 사양

본 풍력발전용 기어박스는 2단 유성기어 및 1단 헬리컬 기어로 구성되며, 20년 내구수명을 만족하도록 개발되었다. 유연 구조의 유성 편을 채택하여 유성기어의 축 정렬불량을 최소화하였으며, 기어치형수정을 통한 기어전달오차를 최소화하였다. 또한 각 기어 및 베어링의 마찰손실 그리고 케이싱 중량을 고려하여 윤활시스템을 최적화하였다. 본 기어박스의 설계사양을 Table 1에 나타내었다.

Table 1 Gearbox Product Design Specification

Gear Ratio	124.4
Efficiency	95.6% 이상
Gear Bending Safety Factor	1.5 이상
Gear Contact Safety Factor	1.2 이상
Bearing Durability	20년 이상
Noise Radiation	100dB(A) 이하
Filtration System	Inline/Offline

- 1) (주) 효성 중공업연구소  
E-mail : onjoon@hyosung.com  
Tel : (055)268-9922 Fax : (055)268-9926
- 2) (주) 효성 중공업연구소  
E-mail : koohapark@hyosung.com  
Tel : (055)268-9296 Fax : (055)268-9926
- 3) (주) 효성 중공업연구소  
E-mail : mbs@hyosung.com  
Tel : (055)268-9924 Fax : (055)268-9926

## 2.2 윤활시스템 시험

기어박스의 수명을 평가하는데 있어, 각 기어 및 베어링에 공급되는 윤활량은 매우 중요하게 고려해야 할 인자이다. 또한 윤활량은 기어박스 하우징의 전체 크기와 무게에 영향을 미칠 수 있는 인자이다. 적절한 윤활유 공급을 위해 각 기어 및 베어링에 필요한 소요 유량을 계산하였다. 그 결과에 따라 노즐 직경 및 파이프 직경, 길이 등을 설계하였으며, 반복적인 해석 및 시험을 통해 설계를 완료하였다. Fig. 1에 윤활유로의 설계과정에서 수행한 해석결과를, Fig. 2에 기어박스 내부 윤활시험장치를 나타내었다.

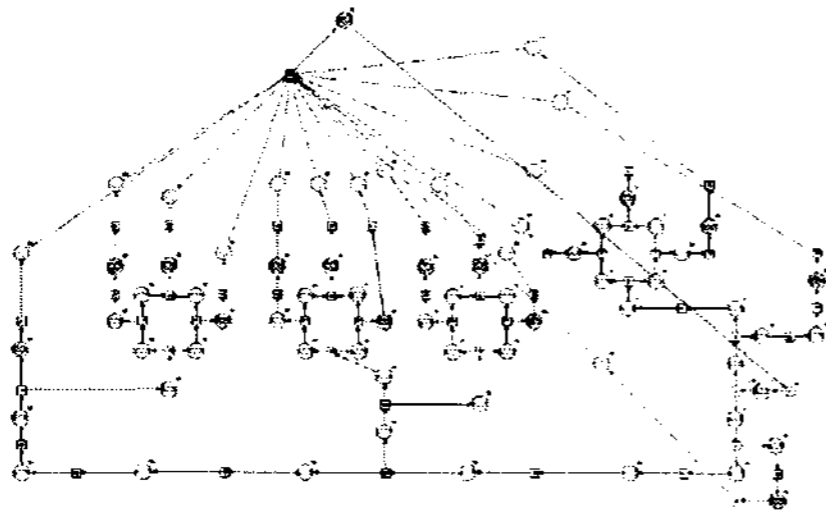


Fig. 1 Analysis model for 2MW gearbox internal lubrication (by Flownex S/W)

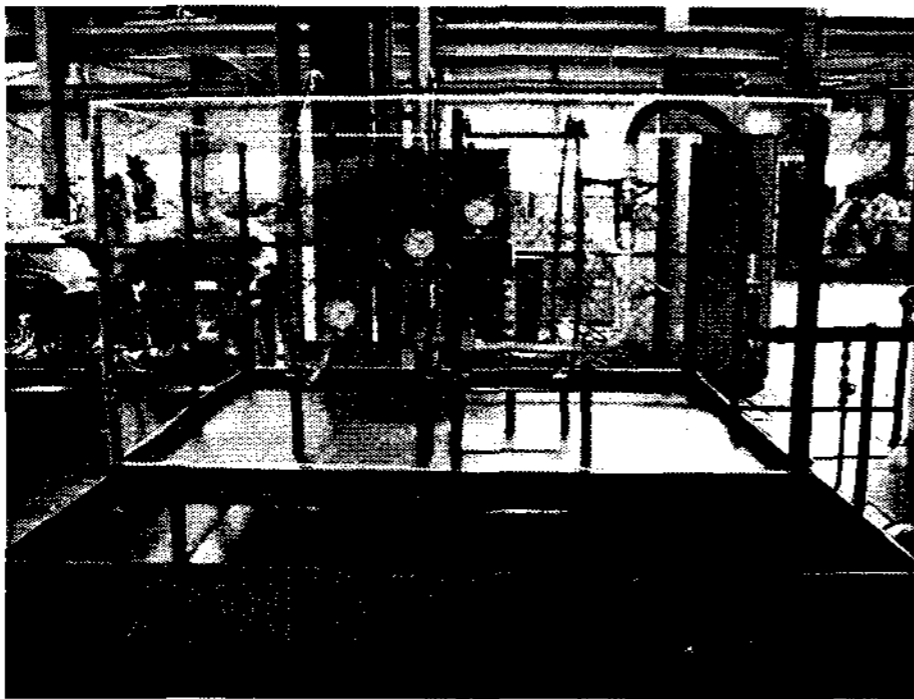


Fig. 2 Test rig for 2MW gearbox internal lubrication

## 2.3 부하시험 장치

본 연구에서는 2.7MW급 기어박스 부하시험 장치를 설치하여 개발된 2MW 기어박스의 부하시험 및 각종 성능시험을 수행할 수 있게 하였다. Table 2에 부하시험장치 사양을 나타내었으며, Fig. 3에 기어박스 부하시험 장치의 모습을 나타내었다.

Table 2 Specification for gearbox test bench

Item	Description
Gearbox Assembly	2MW WTG
Dynamometer	2.7MW Induction Motor
Low Speed Shaft	Flange Type
Data Logger	PC based modular system
Lubrication System	Production Standard
Cooling System	Production Standard
Generator	2MW DFIG
Inline Filtration	10 $\mu$ m/25 $\mu$ m
Offline Filtration	3 $\mu$ m

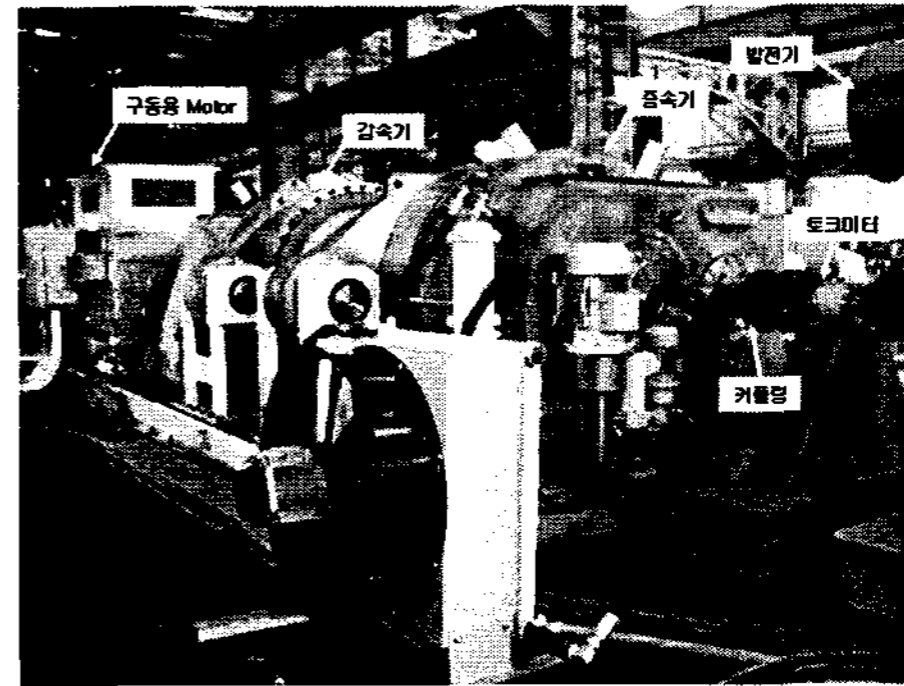


Fig. 3 Gearbox Test Bench Set-Up

## 2.4 성능시험

부하성능시험은 다양한 부하조건 하에서 Table 3과 같이 토크, 회전속도 등의 기본적인 평가인자 외에도 온도, 오일 청정도, 오일 유량, 소음, 진동과 케이싱의 응력 등을 측정하였다. 또한 시험 후 기어박스를 분해하여 기어 및 베어링 상태 점검 등의 절차도 수행하였다.

증속기에 전달된 토크 및 속도는 토크미터 장치를 이용하여 측정하였다. 모든 데이터는 측정용 PC에 매 부하 단계마다 실시간으로 저장되었다. 부하단계는 Table 4와 같으며 고속축 회전속도는 1980rpm으로 유지하였다. Fig. 4와 같이 100% 정격부하에서 98.5%의 증속기 효율을 보였다.

Table 3. Functionality Test parameter

Parameter	Description
Temperature	Gearbox internals and Housing, oil sump, coolant and lubrication system
Speed	Shafts
Stress	Casing and Torque Arm
Vibration	Ring Gear and Torque Arm
Torque	Shafts
Power	Shafts
Flow Rate	Lubrication system
Oil Cleanliness	Application of ISO 4406
Sound Emission	Application of AGMA 297.02

Table 4 Load step for test

Nominal speed	Duration
1st Increment (25% Load)	Until temperature is stabilized
2nd Increment (50% Load)	Until temperature is stabilized
3rd Increment (75% Load)	Until temperature is stabilized
4th Increment (100% Load)	Until temperature is stabilized

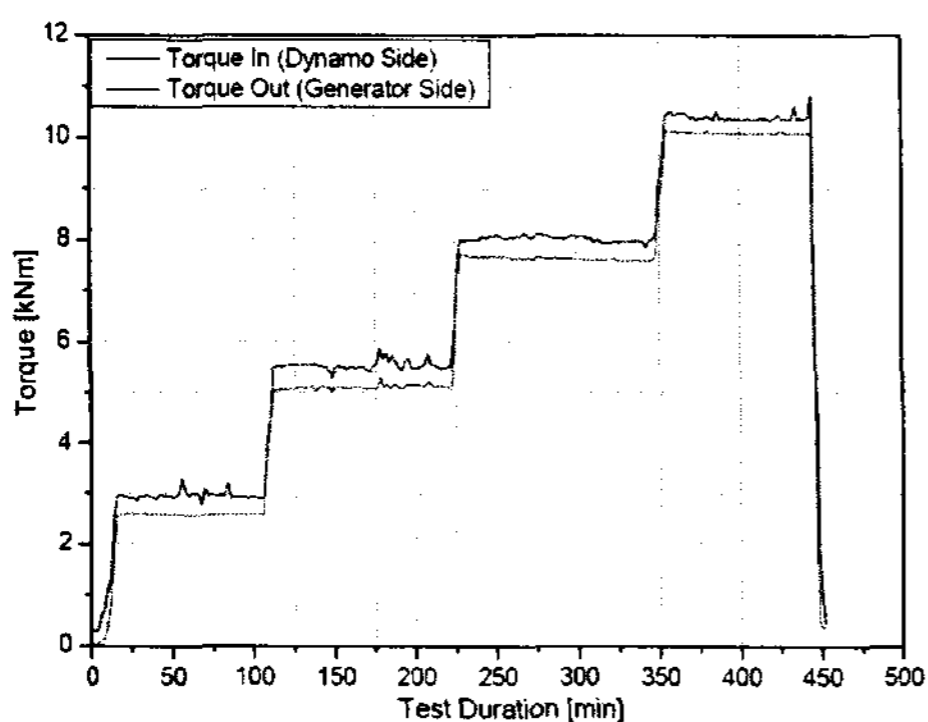


Fig. 4 Torque I/O measurement

증속기 베어링 온도는 3단 기어 단에서 측정하였으며, 온도센서는 베어링 외륜에 접촉되도록 부착하였다. 온도 과열로 인한 베어링 손상 및 기어 손상 때문에 적정 온도 이하로 운전 조건을 제한하였다. 베어링 온도와 함께 오일 쿨러 입/출력, 하우징, 대기온도 등도 같이 측정하였으며, Fig. 5에 측정결과를 나타내었다. 최대값은 3단 피니언 기어를 지지하는 베어링에서 73°C로 측정되어, 기준 온도 이하에서 안정화되는 것을 확인하였다.

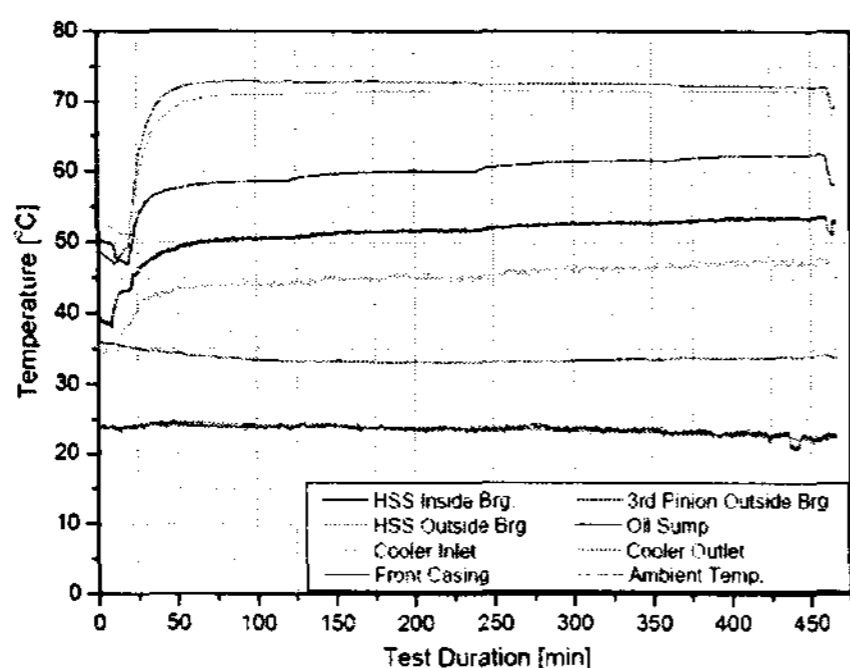


Fig. 5 Temperature measurement

윤활시스템의 구성은 최소 유량 이상으로 기어 박스에 공급되도록 설계하였고, 부하성능시험을 통해 이를 확인하였다. 열 발생으로 인해 윤활유

의 점도가 하락되므로, 기어박스의 온도가 안정화 될 때까지 유량의 변화 추이를 측정하였다. 유량은 175L/min에서 200L/min으로 측정되었다. Fig. 6에 측정된 유량을 나타내었다.

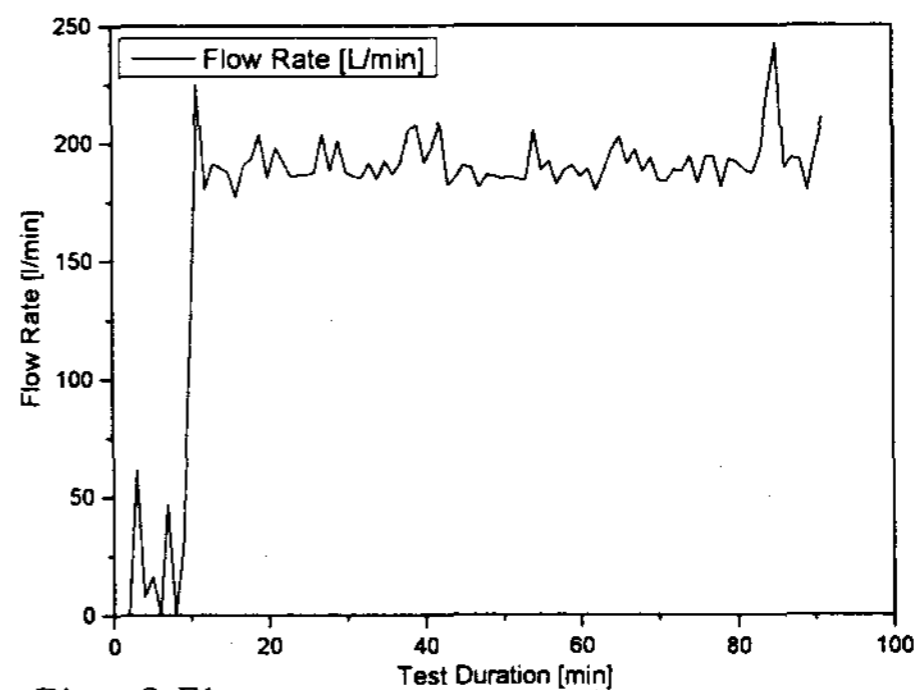


Fig. 6 Flow rate measurement

진동 센서는 Fig. 7과 같이 기어박스 토크암, 링기어 및 출력축에 부착하였으며, 각 위치에서 축방향 및 반경방향 진동값을 측정하였다. 측정결과는 진동 시험 기준인 ISO 2372 ClassIV의 Grade C에 만족하였다.

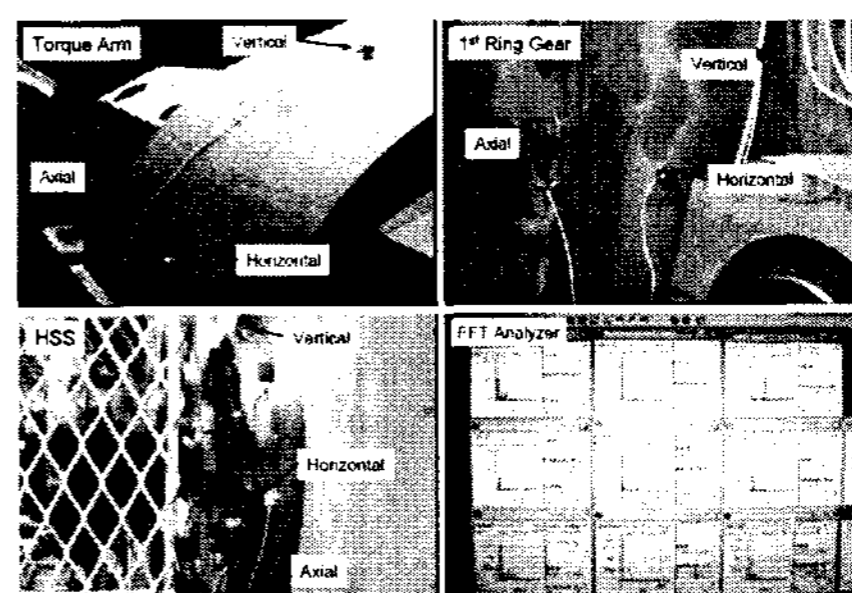


Fig. 7 Vibration sensor instrumentation

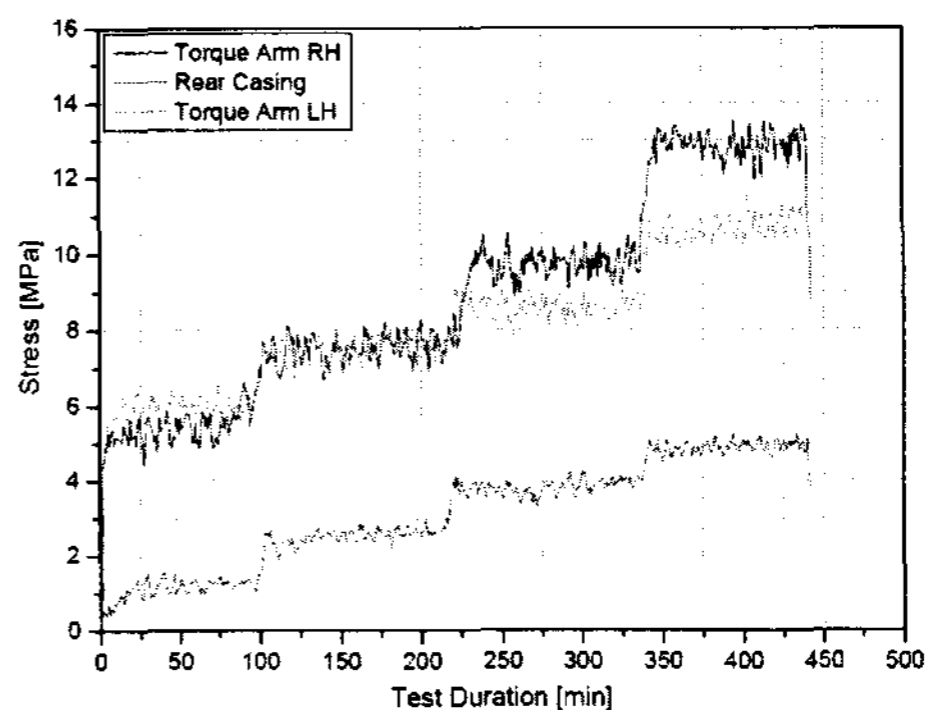


Fig. 8 Strain measurement for casing

소음 측정을 위한 마이크로폰의 위치는 Fig. 10에 나타내었다. 시험 전 암소음은 72dB로 측정되

있고, 최대 소음은 98dB로 측정되었다. Fig. 11에 소음 측정 결과를 나타내었다.

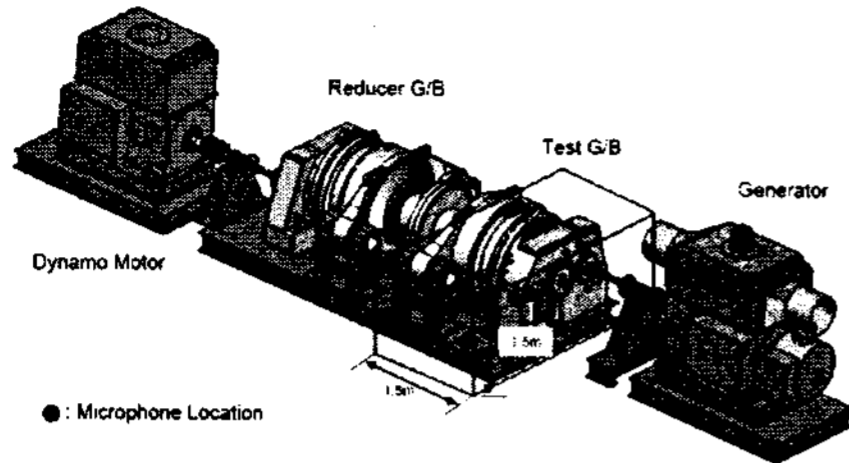


Fig. 9 Microphone instrumentation

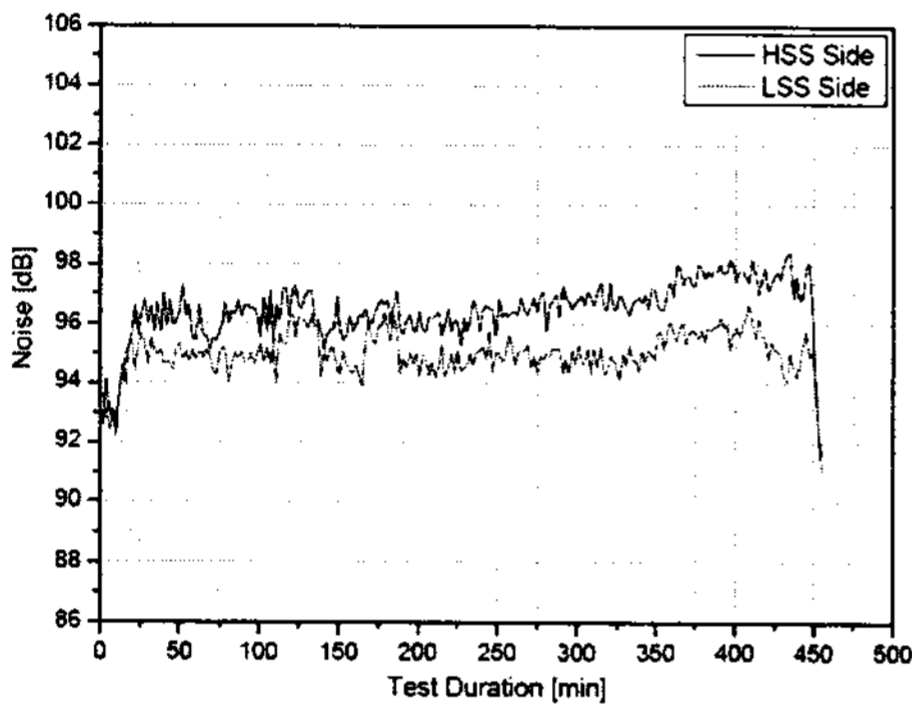


Fig. 10 Noise measurement

### 3. 결론

국제 인증기관인 GL(Germanischer Lloyd) 전문가 입회 하에 성능시험 결과 검토 및 기어박스 분해 후 이상 유무를 점검하였다. 점검 항목은 기어 접촉 형상(Contact Pattern), 치면 마모, 베어링 상태, 가공 정밀도, 재료 시험 결과 등이었으며 시험 결과 및 분해 후 점검 결과에 대해 성공적인 평가를 받았다. 부하시험 결과 및 점검결과에 대해 Table 5와 같이 요약하였다.

Table 5 Test and inspection summary

Parameter	Criterion	Result	Remark
Temperature	- Saturation of Bearing Temperature under suitable limit	- All temperatures saturated - Max. Bearing temperature measured under 73 degree	Successful
Oil cleanliness	- Saturation on each step - ISO4406 17/15/12	- Saturated on each step - Measured by 16/14/12 (100% Load)	Successful
Flow rate	- Required flow rate	- Measured over 175Liter/min	Successful
Vibration	- ISO2372 class IV, Grade C	- Measured around 7.0mm/s	Successful
Noise	- Acc. GL guideline	- Measured under 99dB	Successful
Stress	- Allowable Stress	- Measured under 14MPa	Successful
Gear Mesh	- Good (Gear mesh was examined by GL.)		
Bearing Condition	- Good (Bearing condition was examined by GL and bearing manufacturer.)		

### 후 기

본 연구는 2004~2007년도 전력산업연구 개발 사업인 '국제기술제휴 및 협력에 의한 2.0MW 급 풍력발전시스템 상용화 개발' 사업의 일환으로 수행된 연구 결과의 일부이다.

### References

- [1] Robb D, 2005, "The Role of Bearing in Gearbox Failure," Wind Power Monthly, Vol. 21, No.11, pp.53-58
- [2] ANSI/AGMA, 1988, "Design Manual for Enclosed Epicyclic Metric Module Gear Drives," ANSI/AGMA 6123-A88
- [3] Allan R K, 1954, "Rolling Bearings," Sir Issac Pitman & Sons, Ltd, London
- [4] International Standard Organization, 1990, "Roller Bearings-Dynamic load ratings and rating life"
- [5] International Standard Organization, 1996, "Calculation of load capacity of spur and helical gears"