

LNGC선에 설치된 터빈 구동 발전기의 진동 문제 사고 사례

지승현* □정은수**

A Case Study for Turbine Generator Vibration in LNGC

Seung-Hyun Ji+, Eun-Soo Jeong++

Abstract : Vibration incidents hardly happen when a turbine generator usually installed in LNG carrier is operated, different from diesel engine generator. The purpose of this paper is to introduce an actual vibration incident, which hardly occurred in case of turbine generator, and describe all possible countermeasures to prevent from vibrations during operation.

Key words : Turbine generator(터빈 구동 발전기), Resonance(공진), Gear accuracy(기어 가공도)

1. 개요

근래 조선업계에서 가장 각광 받고 있는 선종 중의 하나인 LNGC(Liquefied Natural Gas Carrier)에는 Main Boiler에서 생성된 Superheated Steam을 이용, Main Steam Turbine을 구동하여 추진을 하며, 이 Superheated Steam은 또한 기관실 내 전체적인 시스템의 효율을 높이기 위해서 Turbine을 구동하여 선내 필요한 전기를 생성하는데, 이를 Turbine Generator라고 한다. 본 연구에서는 Turbine Generator의 Commissioning 중 발생한 Reduction Gear 부근의 진동 문제에 대하여 원인을 조사, 분석하고 이를 토대로 유사한 문제의 재발을 방지하고자 한다.

2. 장비 소개 및 초기 진동 계측 결과

2.1 장비 소개

진동 문제가 발생한 Turbine Generator의 주요 사양에 대한 정보는 다음과 같다.

2.1.1 Turbine

- Rated Output : 3, 450 kW (Generator Output)
- Turbine Rated Speed : 10,045 rpm
- Main Steam Condition : 58.5 kg/cm2(g) × 520 °C

2.1.2 Generator

- Generator Rated Speed : 1,800 rpm

2.1.3 Reduction Gear

- Gear Ratio : 173 / 31 = 5.581

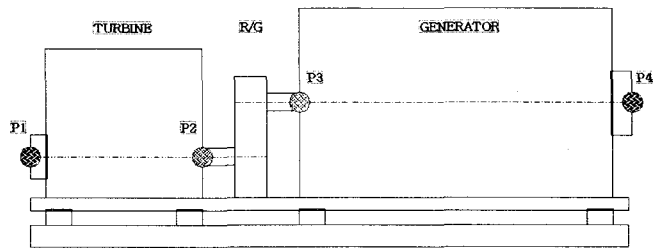


Fig. 1. Schematic drawing of turbine generator and vibration measurement positions

2.2 초기 진동 계측 결과

Turbine Generator 설치 이후 실시된 Load Test 중, 하기의 Table 1 및 Table 2와 같이 높은 수준의 진동값이 계측되었으며, 이는 기 인된 실적선의 진동 수준이 1.0±0.5 mm/sec (rms, root mean square) 정도인 것을 감안하면 상당히 높은 수치인 것으로 판명되었으며, 평소와 달리 심한 진동을 느낄 수 있었다.

No.1 T/G	P1			P2			P3			P4		
	A	T	V	A	T	V	A	T	V	A	T	V
Velocity (mm/s, rms)	0.59	2.36	1.03	3.05	8.07	5.29	1.96	2.85	1.29	1.53	0.40	0.78
Frequency (Hz)	30.0	167.5	167.5	167.5	167.5	167.5	167.5	167.5	167.5	167.5	30.0	167.5

Table 1. Vibration measurement of No.1 turbine generator at 100% load

No.2 T/G	P1			P2			P3			P4		
	A	T	V	A	T	V	A	T	V	A	T	V
Velocity (mm/s, rms)	1.69	2.57	0.96	0.58	7.76	7.72	2.71	6.94	5.88	0.74	0.35	0.38
Frequency (Hz)	167.5	167.5	167.5	167.5	167.5	167.5	167.5	167.5	167.5	167.5	30.0	30.0

Table 2. Vibration measurement of No.2 turbine generator at 100% load

(Limit : 7.1 mm/sec based on ISO)

+ 지승현(삼성중공업 조선설계1팀), E-mail: seunghyun.ji@samsung.com, Tel: 055)630-7823

++ 정은수, 삼성중공업 조선설계1팀

3. 경과

3.1 Alignment

Maker의 Standard Method 포함 3차레에 걸쳐 Turbine과 Generator 사이의 Alignment를 조정하고, 진동 수준을 측정하였으나, 초기 Data 대비 큰 변화 없었으며 여전히 R/G(Reduction Gear) 부근에서 높은 수준의 진동치를 보였다.

3.2 Bearing Modification

Resonance의 가능성을 타진하기 위해서, Generator의 주파수를 59Hz, 60Hz, 61Hz로 변경해 가면서 각 주파수의 진동 계측 및 변경 시의 진동값을 확인 하였다. 이 주파수의 변경으로 인해 진동값의 Variation이 나타났으며, 공진 현상 역시 배제할 수 없는 주요 인자로 부각되었다.

이와 연계하여, Generator Rotor의 Bending Natural Frequency(2nd Order)와 Turbine과 Pinion Gear의 Rotating Frequency(167Hz)가 근접해 있다는 특이한 사항을 Calculation을 통해 확인 하였으며, 이들의 Combination을 통해 또 다른 진동요인이 작용하고 있다는 것을 추측할 수 있었다.

이러한 분석을 토대로, Generator Bearing의 Clearance가 작은 것을 교체하였고 Generator Bearing Stiffness를 증가시키기 위해 Bearing 내부 Design 변경 등을 통해서 진동 응답 개선을 시도하여 진동값이 전체적으로 개선이 되었으나, 실적선 대비 여전히 높은 수치의 값을 보였다.

3.3 Gear Replacement

높은 진동값을 보이는 부분이 대부분 R/G에서 발생하는 것을 확인하고, R/G 자체에 대한 의구심이 생겨났으며, 기존에 적용했던 Turbine Generator와 비교한 결과, R/G 부분의 Sub-Vendor가 변경되었음을 확인하였다.

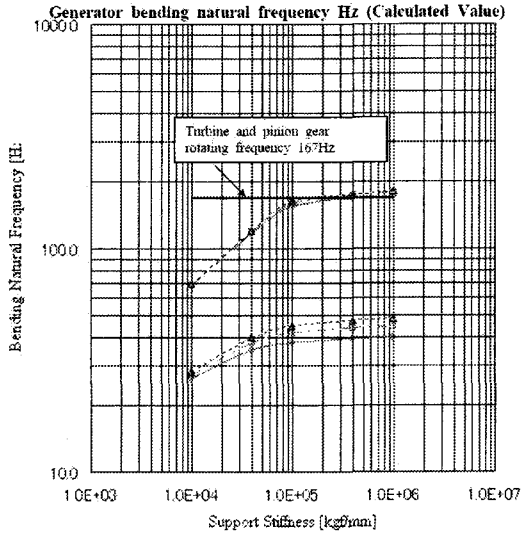


Fig. 2. Generator bending natural frequency (calculated value)

그에 따라, Design Data 및 가공 정도 등에 대한 상세 내용을 확보하였으며, 가공 정도에 문제가 있음을 확인하였다.

Vessels	A vessel		Troubled vessel		B vessel	
	No.1	No.2	No.1	No.2	No.1	No.2
Turbine Generator						
Accumulative Pitch Variation (μm)	4.8	4.9	4.2	7.3	6.2	3.3
Radial Runout (μm)	3.3	7.9	6.2	12.2	5.6	7.7
1st Harmonics Value	7.7	2.01	1.95	2.45	2.85	0.98
						1.22

Table.3 Comparison of pinion gear accuracy among three vessels

좌측 Table. 3은 Pinion Gear의 가공 정도를 다른 선박과 비교하여 나타낸 것이며, 1st Harmonic Value의 값이 크게 나타났다. 이는 Exciting Force를 커지게 만들며, 진동의 원인이 되는 가능성을 보여주는 것이었다.

그래서, 선박의 인도 시점을 고려, 긴급히 가공 정도가 양호한 Gear로 교체하였으며, 진동값이 기존의 인도된 호선 수준의 레벨로 낮아졌다.

Position	Pinion Side R/G			Wheel Side R/G			Generator Gear Side Bearing Box		
	A	T	V	A	T	V	A	T	V
No.1 T/G	0.3	0.6	0.3	0.5	0.4	0.9	0.3	0.2	0.3
No.2 T/G	0.4	0.5	0.5	0.6	1.1	0.4	0.4	0.4	0.3

Table.4 Vibration measurement after gear replacement

4. 결과

LNGC에서 사용되는 Turbine Generator의 심각한 진동 발생에 대하여, 상기 과정을 통하여 문제 해결을 도모하였으며, 최종적으로 적용한 Gear Replacement를 통해 원하는 수준의 진동값을 얻을 수 있었다. 또한, 추후 Turbine Generator의 진동 문제 발생 시, 조치해야 할 사항으로 가장 기본적인 Alignment 정도의 확인뿐만 아니라, 아래에 추가로 언급한 두 가지 항목들에 대해서도 함께 고려하여 다양한 방법으로 접근하여 문제를 해결하도록 한다.

가. Shaft Alignment 정도의 향상

나. Generator Rotor의 Bending Natural Frequency(2nd Order)를 고려한 Turbine과 Generator의 결합

다. Gear Accuracy의 정도 향상 및 관리 강화

참고문헌

- [1] ISO10816-1, "Mechanical Vibration Evaluation of Machine Vibration by Measurements on Non-Rotating Parts", 1995.
- [2] ISO8528-9, "Measurement and Evaluation of Mechanical Vibration First Edition", 1995.
- [3] ISO1328, "Cylindrical Gears ISO System of Accuracy", 1995.
- [4] John M. Vance, "Rotordynamics of Turbomachinery", Wiley-Interscience Publication, 1988.
- [5] Dara Childs, "Turbomachinery Rotordynamics", Wiley-Interscience Publication, 1993.