

Coolant Heater의 기밀성 품질 향상을 위한 Leak Test Machine 구조 개선

한대성^{*†}·남규동^{*}

^{*†}(주)디에이치지

Design Alterations of a Leak Machine Structure for the Improved Leak Quality of Coolant Heater

Dae Seong Han^{*†} and Kyu Dong Nam^{*}

^{*†}DHG CO., LTD.

ABSTRACT

Electric Vehicle industry requires high technologies to stabilize apparatuses for the Coolant heater manufacturing. Vibrations of Leak Machine are one of the most critical factors for causing delivered of the defective product or poor inspection, which are the main reasons of the defects. In this study, the structure of the Leak Machine was analyzed through the experiment and the computer simulation to investigate the main reasons of the vibrations, and further to alter the design for the improved stability. And that design alterations were applied to the machine to identify the effects of those alterations. The result of the study shows that design alterations of the Leak Machine can effectively suppress about 97.8% of the vibrations, and further can improving the Inspection precision of the Coolant heater.

Key Words : Leak test machine, Coolant heater, Design alteration of the Supporting Structure, Vibration suppression, Stability improvement

1. 서 론

국내/외 자동차 업체들은 CO₂ 총량제의 규제를 맞추기 위해 내연기관의 공급은 줄이고 PH EV, EV 등 친환경 자동차의 공급을 늘리고 있다. PH EV, EV 등의 친환경 자동차는 짧은 충전 시간과 긴 주행거리를 가지도록 배터리의 효율성을 향상시키는 것이 핵심 화두이다.

일반적으로 차량용 배터리의 효율성을 향상시켜주는 기술 및 장치는 다양하지만, 영하의 기온에서 배터리의 효율성에 영향을 주는 기술 및 장치는 한정적이다. 그中最 가장 효과적인 방법은 배터리에 투입되는 Coolant를 최적의 온도로 제어하여 겨울철 배터리의 방전현상을 예방과 동시에 효율을 높여주는 장치인 배터리 Coolant heater를 적

용하는 것이다.

Coolant heater는 전기자동차 배터리의 고압 직류를 인쇄된 발열 기판으로 공급하여 Coolant의 온도를 신속하게 가열하여 배터리를 최적의 상태로 유지시킨다. Coolant heater는 장치를 제어하는 전기기판과 Coolant가 유동하는 유로부의 위치가 밀접하여 Leak에 의해 기판 쪽으로 Coolant가 유입 될 경우 차량에 중대한 사고 폭발, 화재 등 유발시킬 수 있다. 그러므로 Coolant heater는 온도를 제어시키는 전기기판과 Coolant 유로를 제어하는 Housing의 기밀성은 매우 중요하다. 조립 후 Leak test를 진행하여 제품의 적합성을 판단하게 되는데 이때, Leak test machine의 진동으로 인해 검사 오류가 발생된다.

본 연구는 Coolant heater의 기밀성 검사를 위한 Leak test machine의 진동을 제어하여 검사 안정성을 높이고, 품질을 향상시키는 것을 목표로 최적의 설계안을 도출하고자 한

[†]E-mail: dshan824@gmail.com

다. 구체적인 진행사항은 주파수 분석 실험과 Computer simulation을 통해 Machine의 특성을 파악하여 진동을 최소화할 수 있는 개선안을 도출함으로써 Machine의 안정성과 제품의 품질을 향상시키는 연구를 진행하였다.

2. Machine 진동 분석

2.1 Machine 구조 및 작동조건

Coolant heater 기밀성 판별력 향상을 목적으로 Leak test machine의 구조 개선안 적용을 위한 주파수 분석 실험과 Machine 작동 특성 분석을 통해 고유진동수와 진동형의 종류를 확인하여 진동의 원인을 파악한다. Machine의 구조는 Fig. 1과 같다. Compressor의 작동속도는 20Hz으로 Machine의 진동을 발생시키는 가장 큰 요소로 파악된다.

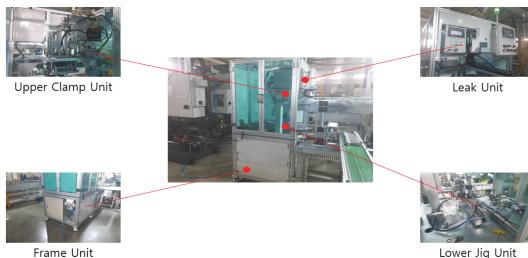


Fig. 1. The structure of a coolant heater leak test machine.

2.2 실험 장비 및 측정 준비

진동 분석 실험에서 사용된 실험 장비의 사양 및 준비 상태는 아래의 Fig 2 및 Table 1과 같다.

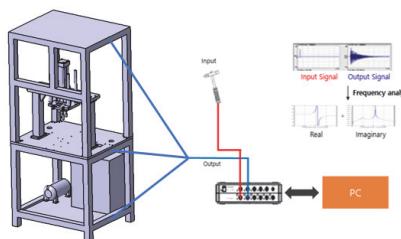


Fig. 2. The setup for the frequency response test.

Table 1. Spec. of the test equipments

Spec equipment	Model	Company
FFT. analyzer	Net dB PRO-WA	AREVA
Accelerometer	8634b5	Kistler
Impact hammer	DYTR PULSE	Dytran

Fig. 3과 같이 장비에 가속도 센서를 부착한 후 힘(Input)을 가하고 그에 따른 진동(Output)을 측정한 후 주파수분석기를 통해 주파수영역으로 Transformation 하면 전달함수를 얻을 수 있다[1].

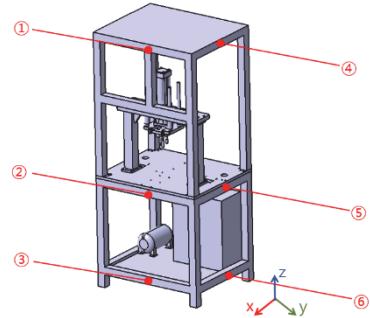


Fig. 3. The locations of the sensors.

Fig. 4, 5는 실험을 통하여 얻어진 전달함수 그래프이며, Real 및 Imaginary 그래프의 Peak점에서 고유진동수를 확인할 수 있다[2].

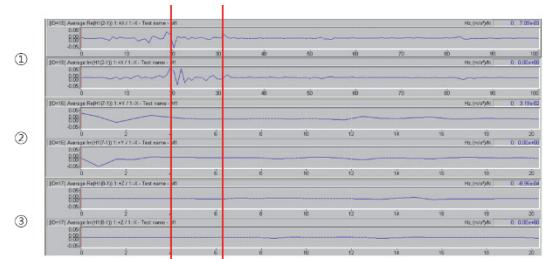


Fig. 4. Transfer functions of the machine (sensor #1~3).

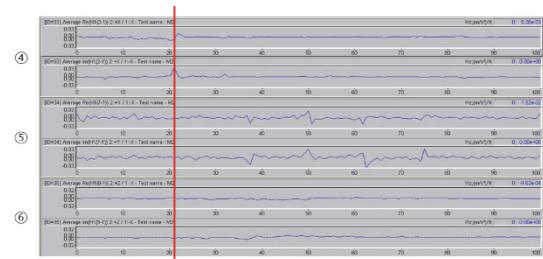


Fig. 5. Transfer functions of the machine (sensor #4~6).

그래프를 통해 1차 고유진동수 19.08Hz에서 x축 방향으로, 2차 고유진동수 21.13Hz에서 y축 방향으로, 3차 고유진동수 31.27Hz에서 z축(장비 중심)을 기준으로 틀림 형태의 진동형이 발생함을 알 수 있다.

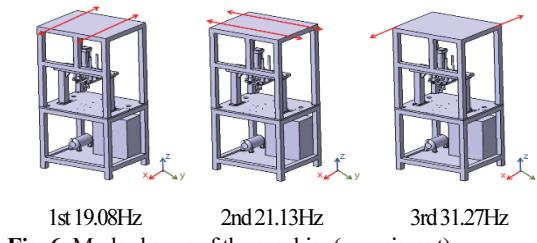


Fig. 6. Mode shapes of the machine(experiment).

Fig. 4, 5, 6의 Transfer function에서 얻어진 고유진동수 및 Mode shape은 Table 2와 같다.

Table 2. Natural frequencies of the original structure from the experiment

Mode	Natural frequencies(Hz)	Mode descriptions
1st	19.08	Bending along X direction
2nd	21.13	Bending along Y direction
3rd	31.27	Torsion Z axis

2.3 Computer simulation

구조물이 가지는 진동 특징과 형태를 분석하기 위하여 구조물의 각각의 부위들과 전체에 대한 진동 형태를 유한요소해석의 결과를 통해 규명하여 Simulation 결과가 실험 결과와 일치하는지를 확인한다. 구현된 Simulation model은 Fig. 7과 같다.

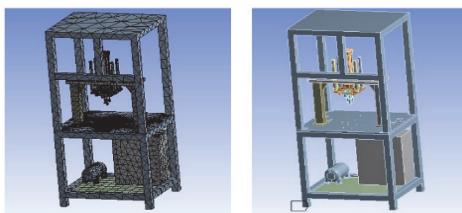


Fig. 7. The model for computer simulation.

Computer simulation 통해 얻어진 장비 고유진동수와 진동 형은 Fig. 8과 같다.

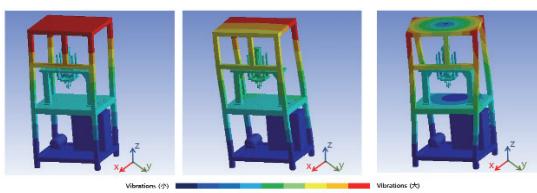


Fig. 8. Mode shapes of the machine(computer simulation).

Leak machine의 진동 분석 실험과 Simulation 결과는 Table 3과 같다. Table 3을 통해 실험과 Simulation의 모델링이 실제 장비의 동특성을 잘 반영하고 있음을 알 수 있다[3].

Table 3. Comparison of the natural frequencies from experiment and computer simulation

Analysis Number	Analysis		Computer simulation	Error
	Excitation	Computer simulation		
Natural frequencies (Hz)	1st	19.08	18.01	5.9%
	2nd	21.13	20.14	4.9%
	3rd	31.27	30.27	3.3%

실험과 Simulation을 통해 도출된 장비의 동특성을 바탕으로 문제점을 분석하고 이를 해결할 수 있는 설계 개선안들을 도출한다. 그리고 도출된 개선안을 Simulation 모델에 적용한 후 개선안에 따른 효과를 확인하여 최적화된 설계 개선안을 확정한다[4-8].

3. 안정화 설계

진동 분석결과 1차(18.01Hz), 2차 고유진동수(20.14Hz)가 Compressor 작동속도 영역(20Hz) 내에 있어 공진으로 인한 큰 진동이 발생됨을 알 수 있으며 고유진동수를 높여 공진을 회피시키는 설계 개선이 요구된다[9~12].

3.1 설계 변경(#1) – 하측 지지부 보강

Fig. 9에 leak machine의 하측 지지부 4ea ($60 \times 60 \times 100$)를 추가하여 장비의 강성을 높여서 Compressor/1, 2차 고유진동수 와의 공진을 회피할 수 있도록 설계 개선하였다.

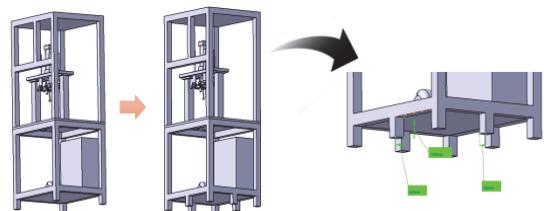


Fig. 9. Design alteration #1.

개선안 적용 결과 장비 Table 4와 같이 1, 2, 3차의 고유진동수는 18.22, 20.45, 30.77Hz로 증가하여 여전히 1, 2차 고유진동수가 공진영역에 포함되어 있다. [Table 4]

Table 4. Natural frequency of the original model and alteration #1

Mode	Natural frequency[Hz]		Comparison [%]
	Original	Alteration #1	
1st	18.01	18.22	1.2 ↑
2nd	20.14	20.45	1.5 ↑
3rd	30.27	30.77	1.7 ↑

3.2 설계 변경(#2) – 상축 높이 축소

강성은 구조물의 길이에 세제곱에 반비례하여 증가하므로 장비 전체의 안정성 향상 및 고유진동수 증가를 통한 공진 회피를 위해 Fig 10과 같이 장비의 높이를 축소하였다.

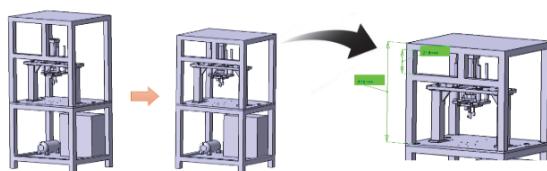


Fig. 10. Design alteration #2.

개선안 적용 결과 Table 5와 같이 고유진동수가 크게 증가하였으나 1차와 2차 고유진동수가 공진영역에 포함되어 있어 추가 설계 개선을 진행하였다. [Table 5]

Table 5. Natural frequency of the original model and alteration #2

Mode	Natural frequency[Hz]		Comparison [%]
	Original	Alteration #2	
1st	18.51	20.35	13.0 ↑
2nd	22.02	21.60	7.2 ↑
3rd	27.26	34.38	13.6 ↑

3.3 설계 변경(#3) – 하축 프레임 보강

1차와 2차 고유진동수의 공진에 따라 leak machine의 하축 프레임을 보강하여 앞/뒤로 진동이 발생되는 부분의 강성을 높여 고유진동수를 증가시키는 추가 설계안을 적용하였다. 하축 프레임 보강은 3도의 각이 추가되도록 설계하였다.

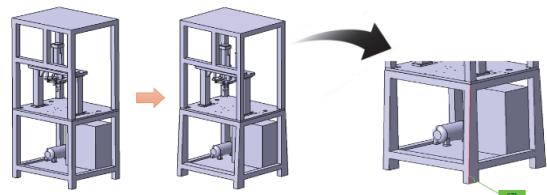


Fig. 11. Design alteration #3.

추가 설계 개선안을 적용한 결과 Table 6과 같이 고유진동수가 증가하였다.

Table 6. Natural frequency of the original model and alteration #3

Mode	Natural frequency[Hz]		Comparison [%]
	Original	Alteration #3	
1st	18.01	21.28	18.1 ↑
2nd	20.14	22.33	10.9 ↑
3rd	30.27	34.30	13.3 ↑

3.4 최종 개선안 도출 및 효과 확인

Table 7은 개선안 #1, #2, #3을 모두 적용한 최종 개선안의 고유진동수를 정리한 것이다. 설계 개선안 적용을 통해 공진이 문제되었던 1, 2차 고유진동수가 각각 37.4%, 37.0%, 상승하여 공진을 완전히 회피하였다.

Table 7. Natural frequency of the original model and final model

Mode	Natural frequency[Hz]		Comparison [%]
	Original	Final	
1st	18.01	24.74	37.4 ↑
2nd	20.14	27.60	37.0 ↑
3rd	30.27	40.59	34.1 ↑

작동속도 영역에서 개선 전후 진동 크기의 평균을 비교해보면 Table 8과 같이 97.8% 감소하는 것을 확인하였다.

Table 8. Magnitude of vibrations of the original model and final model

Range[Hz]	Magnitude of vibrations [μm]		Comparison [%]
	Original	Final	
20	1.830	0.041	97.8 ↓

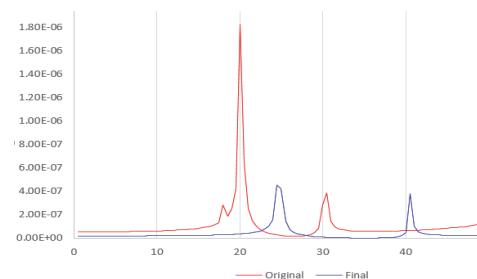


Fig. 12. Vibration magnitudes of the original model and the final model.

앞서 장비의 동특성 분석과정에서 파악된 구조적 문제점을 개선하기 위하여 강성을 높이고 불필요한 높이를 축소하여 고유진동수를 상승시켜 Compressor 작동속도와의 공진을 피하고 Frame의 강성을 강화한 결과 기존 장비에서 발생하는 진동을 97.8% 억제시켰다.

4. 결 론

본 연구는 Leak test machine의 진동 억제를 통한 검사 정밀도 향상을 목표로 진행되었다. 진동 분석 실험과 Computer simulation을 통해 장비 동특성을 분석하고 진동의 주된 원인을 파악하였다. 이를 바탕으로 공진회피를 위한 설계 개선안을 설정하였으며 Computer simulation에 적용하여 설계 개선안의 효과를 검증하는 과정을 거쳐 최종 설계안을 도출하였다. 본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 대상 장비의 주파수분석실험과 Computer simulation 결과를 비교한 결과 오차는 평균 5% 이하로 Simulation이 실제 장비의 동특성을 잘 반영하고 있으며 Simulation을 통한 분석은 타당성이 있음을 확인하였다.

둘째, 진동분석 결과 장비의 진동 발생 원인은 1차, 2차 고유진동수(18.01Hz, 20.14Hz)가 장비의 주요 가진 원인인 Compressor의 작동속도영역(20Hz) 내에 존재하여 공진 발생으로 인해 진동이 발생하는 것을 확인하였다. 1, 2차 고유진동수에서 장비의 Mode shape은 전면부 Frame에서부터 장비 전체가 전후, 좌우로 Bending 하는 형태이고 이를 보완하는 설계안을 다음과 같이 적용하였다.

셋째, 하부의 지지대 보강을 통해 장비 전체의 강성을 높여 1차, 2차 고유진동수를 증가시켜 Compressor 외의 공진을 회피시키려 하였으나, 여전히 공진 영역에 존재하여 추가로 삼각형 구조의 하축 프레임을 보강하는 개선안을 적용하였다. 또한 장비 전체의 안정성 향상 및 고유진동수 증가를 위해 상축 높이를 축소하였다.

넷째, 설계개선안 적용을 통해 공진이 문제되었던 1, 2차 고유진동수가 24.74, 27.60Hz로 각각 37.4, 37.0% 상승하여 공진 구간을 완전히 벗어났으며 장비 전체적인 강성 강화로 3차 고유진동수도 상승하였다. 그 결과 장비에서 발생하는 진동이 97.8% 감소하는 것을 확인하였다.

감사의 글

본 논문은 한국산업기술진흥원의 지원(2020년도 지역 주력산업육성사업, S2934278)을 받아 수행된 연구 결과임.

참고문헌

1. Han Joong Cho and Seung Hoon Ro, 1999, "Effect of Design Parameters on the Variation of Natural Frequencies of the Uniform and the Nonuniform Cantilever Beams," Transaction of the KSME, A, Vol.23, No.4, pp.697-708.
2. Ro, S. H., 2013, Mechanical Vibrations with Applications, Chaosbook, pp. 22-58, 219-223.
3. Demeter G.Fertis, 1995, Mechanical and Structural Vibration, John Wiley & sons, Inc., New York, pp.197-241.
4. Seung Hoon Ro, Han Joong Cho, and Eun Hwan Choi, 2000, "Analysis of the Free Vibrations of Rectangular Plates Using Database," Transaction of the KSME, A, Vol.24, No.8, pp.1978-1990.
5. D. J. Inman Prentice Hall, Englewood Cliffs, N.J., 1989, Vibration with Control Measurement and Stability.
6. W. Weaver, Jr., S.P. Timoshenko, and D.H. Young Wiley, New York, 1990, Vibration Problems.
7. D.J Inman, Wiley, Chichester, U.K., 2006, Vibration and Control.
8. Jae-Woo An, 2010, Optimum Design of a Eco-Friendly Servo Press for the Improved Pressing Accuracy, 13~47
9. Moon-Hyung Lee, 2008, Structural Design of Universal Cylindrical Grinder for the Improved Stability, 2~28
10. Yun-Ho Shin, 2016, Design optimization of a hydraulic press structure for the improved precision machining, 4-27.
11. Ro, S. H., and Park, Y. R., 2015, Stability Design of a Laser Cutter for the Strengthened Glass, Journal of the Semiconductor & Display Technology, Vol. 14, No. 1, 19-25.
12. Shin, H. B., and Ro, S. H., 2017, Design Alterations of a Squaring & Grinding Machine for the Solar Cell Wafer to Suppress Vibrations, Journal of the Semiconductor & Display Technology, Vol. 16, No. 3, 25-30.

접수일: 2021년 4월 29일, 심사일: 2021년 5월 26일,
제재확정일: 2021년 6월 18일