

궤도차량 변속기 출력 하우징의 구조건전성 평가에 대한 연구

정재웅^{*,1)} · 이희원²⁾ · 문태상¹⁾ · 권준식¹⁾

¹⁾ 국방기술품질원 창원센터
²⁾ S&T중공업 특수기어박스개발팀

A Study on the Structural Integrity Assessment of the Output Housing in Transmissions of a Tracked Vehicle

Jae-Woong Jung^{*,1)} · Hee-Won Lee²⁾ · Tae-Sang Moon¹⁾ · Jun-Sik Gwon¹⁾

¹⁾ Changwon Center, Defence Agency for Technology and Quality, Korea
²⁾ Special Gear Box Dev. Team, S&T Dynamics Co., Ltd., Korea

(Received 20 February 2014 / Revised 15 September 2014 / Accepted 9 January 2015)

ABSTRACT

Transmission of a tracked vehicle designed for multiple functions such as steering, gear-shifting, and braking is a core component of heavy vehicle to which the power is transferred based on combined technology of various gears, bearing, and fluid machineries. Robustness and durability of transmission, however, have been issued due to a large number of driving units and sub-components inside its body. Particularly, transmission housing is important structure which supports the transmission, and is made of aluminum alloy. Thus, structural robustness against such mechanical loading or vibration must be attained. Structural reliability evaluation through FEM analysis can save time and cost of the actual tests.

In this study, structural evaluation is conducted on output housing of transmission, which is core component of tracked vehicle, using the simulation program. In addition, transmission dynamo test is performed to evaluate structural robustness of the output housing against the vibration which can be produced during the transmission operation.

Key Words : Finite Element Analysis(유한요소해석), Transmission(변속기), Structure Analysis(구조해석), Modal Analysis(모달해석), Vibration Test(진동시험), Frequency Response (주파수 응답)

1. 서론

궤도차량의 변속기는 조향, 변속, 제동 등의 복합적인 기능을 발휘할 수 있도록 설계되어 왔으며, 고 중량의 차량을 구동하기 위한 다양한 기어와 베어링 및 유체기계의 조합으로 동력이 전달되는 핵심품목으로

* Corresponding author, E-mail: jwjung@dtaq.re.kr
Copyright © The Korea Institute of Military Science and Technology

써, 많은 운동부와 하위의 단품 수로 인하여 구조건전성 및 내구수명에 대한 문제가 제기되어 왔다.

특히, 변속기의 알루미늄합금 주물인 하우징은 변속기를 지지하는 중요한 구조물이다. 알루미늄합금 주물은 주조공정 특성상 주물이 응고될 때 내부의 기포에 의해 가공, 수축공 등의 주조결함이 존재할 수 있고, 이들 결함은 변속기 작동 중 외부 충격이나 진동에 의해 미소 균열을 진전시켜 파단이나 파손현상이 발생하게 된다. 따라서, 작동시에 발생하는 하중에 대해서나 진동에 따른 구조적 안전성을 확보하여야 한다.

FEM을 활용한 해석적 방법을 통한 구조적인 신뢰성 평가는 시험적 방법에 소요되는 시간과 비용을 절감할 수 있는 이점을 지니고 있다.

본 연구에서는 케도차량의 핵심 부품인 변속기의 출력 하우징에 대하여 해석 프로그램을 이용하여 구조해석을 실시하였으며, 변속기 다이내모 시험을 통하여 측정된 데이터를 기반으로 진동해석을 실시하여 진동 발생에 대한 출력 하우징의 구조건전성 평가를 수행하였다.

2. 재료시험

재료의 역학적인 특성을 기초자료로 얻을 목적으로 Fig. 1과 같은 시편을 이용하여 인장시험을 실시하였다. 시험 규격은 KS B 0802¹¹⁾를 따라 실시하였으며, 시험 속도는 0.3 mm/min으로 시편에서 인장강도, 항복강도, 탄성계수를 측정하였다.

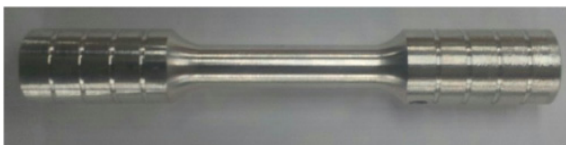


Fig. 1. Specimen of tensile test

Table 1. Mechanical properties of A206.0-T71

Property	Value
Yield strength	366 MPa
Tensile strength	429 MPa
Modulus of elasticity	68 GPa

Table 1과 같이 인장시험 결과 인장강도는 429 MPa, 탄성계수는 68 GPa, 항복강도는 366 MPa의 결과를 확인할 수 있었다.

3. 진동시험

출력 하우징의 경우 변속기 전체를 지지하는 구조물으로써, 변속기 동작에 따른 진동발생에 의해 지속적인 하중을 받는다. 따라서, 출력 하우징의 진동에 대한 구조적 안전성을 확인하여야 한다. 진동시험은 진동해석에 필요한 주파수 및 가속도를 확보하기 위해 수행하였다. 진동시험은 변속기 성능시험을 시행하는 다이내모 장치에서 실제 변속기를 사용하여 수행하였으며, 출력속도(rpm)에 따른 주파수와 가속도 값을 측정하였다.

Fig. 2와 같이 진동시험이 진행되었고, 사진의 좌측 상단부에 X, Y, Z축의 방향을 나타내었다.

진동시험 조건은 출력속도 200 rpm에서 100 rpm씩 증가시켜 1,700 rpm까지의 X, Y, Z축 각 각의 주파수와 가속도의 크기를 측정하였다.

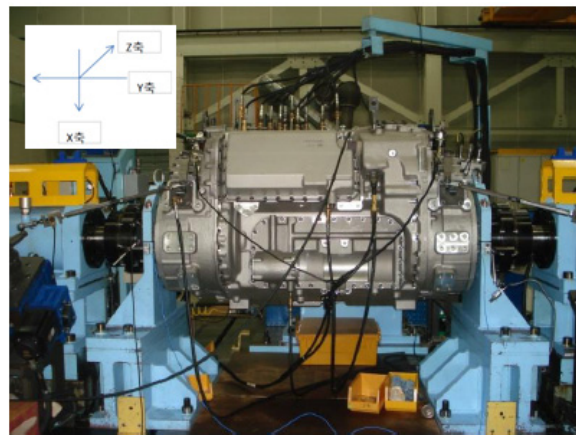
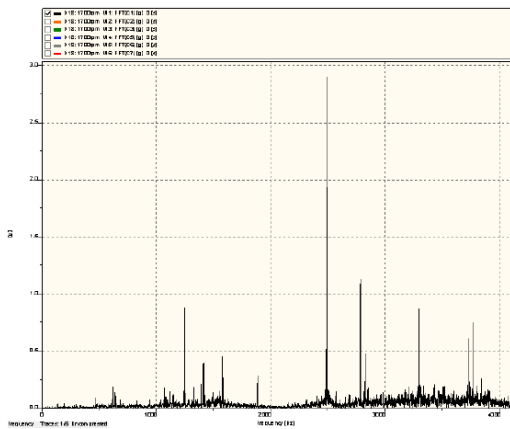


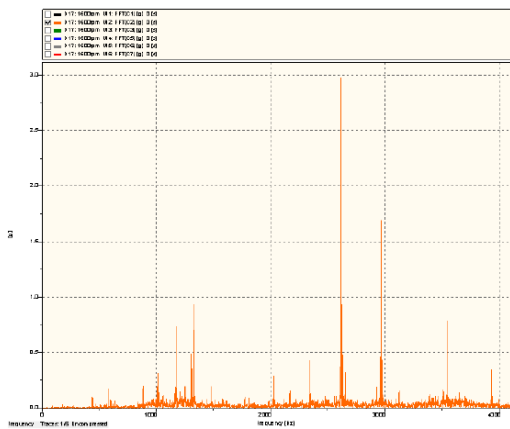
Fig. 2. Test setup condition

Table 2. Maximum acceleration(g) in each direction

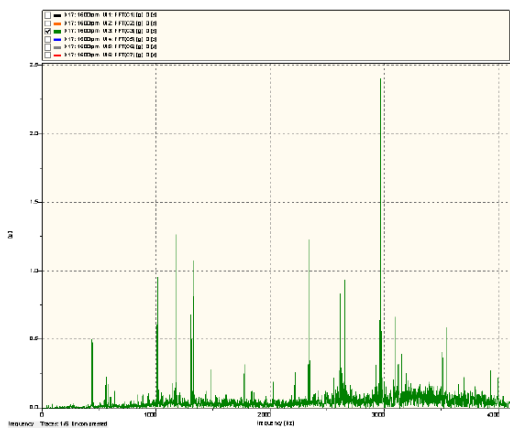
X축	주파수 (Hz)	2493
	가속도 (g)	2.9
Y축	주파수 (Hz)	2619
	가속도 (g)	3.0
Z축	주파수 (Hz)	2969
	가속도 (g)	2.4



(a) X direction



(b) Y direction



(c) Z direction

Fig. 3. Frequency-acceleration curves at maximum acceleration in each direction

최대 발생 가속도의 값은 Table 2과 같고, 가속도의 크기가 최대 발생되었을 때의 그래프를 Fig. 3에 나타내었다. 그래프의 가로축은 주파수, 세로축은 가속도를 의미한다.

4. 변속기의 구조와 해석 모델링

본 연구의 궤도차량 변속기는 다양한 기어와 유체 장치로 이루어져 있고, 알루미늄 합금주물인 하우징에 의해 지지되어 진다. 변속기의 전체 형상은 Fig. 4와 같고, 구조해석 및 진동해석을 수행하기 위한 출력 하우징의 모델은 Fig. 5에 나타내었다. 출력 하우징의 모델은 기하학적 형상, 질량과 관성모멘트를 정확하게 반영할 수 있도록 하기 위해 3D CAD를 이용하여 모델링하였다. 2차원 모델링과는 달리 브래킷의 세부적인 형상까지도 표현을 할 수 있으며 해석의 정확도를 높일 수 있다.

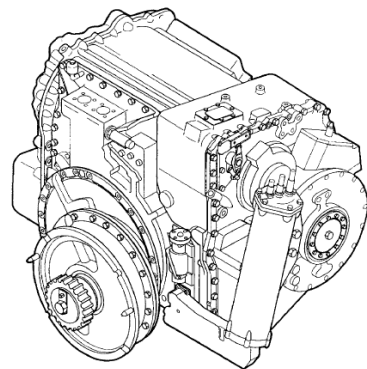


Fig. 4 Structure of the transmission

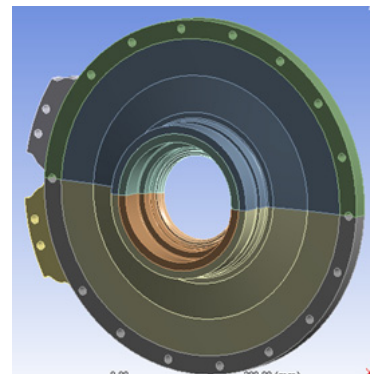


Fig. 5. 3D model of the output housing

유한요소해석을 위해 모델링을 범용유한요소 해석 프로그램인 ANSYS WB(Ver. 14.5)를 이용하여 구조해석과 진동해석을 수행하였다.

5. 유한요소해석

ANSYS WB(Ver. 14.5)를 사용하여 정적 구조해석 및 진동해석을 수행하였다.

변속기의 출력하우징은 전체 변속기를 지지하는 기능 이외에 브레이크 작동부를 지지하는 역할도 수행한다. 따라서, 정적 구조해석에서는 하우징 내부에 작용하는 유압의 영향을 검토 하였고, 진동해석에서는 변속기 운행시에 발생하는 진동에 대한 영향을 살펴 보았다.

유한요소 해석의 절차는 전처리(Pre-process), 해석(Solve), 후처리(Post-process)로 나뉘는데 전처리(Pre-process)에서는 해석할 모델의 형상으로부터 절점과 요소를 생성하고 재료의 물성치 입력 및 해석 조건을 설정하였다. 또한 후처리는 해석결과를 출력하여 등가응력과 전체 변형량을 확인하여 해석 결과를 분석하였다^[2].

Mesh의 구성은 2가지 요소를 사용하였다. 출력 하우징의 내부는 Quadratic Hexa를 사용하였고, 메인하우징과 체결되는 볼트 부위는 Quadratic Wedge를 사용하였다. Mesh의 형상은 Fig. 6과 같다. 해석에 사용된 절점의 수는 약 234,047개, 요소의 수는 48,216개이다. 이 해석에서 사용된 주재료는 알루미늄 합금강인 A206.0-T71이며, 재료의 물성치는 재료시험에서 얻은 값을 사용하였다.

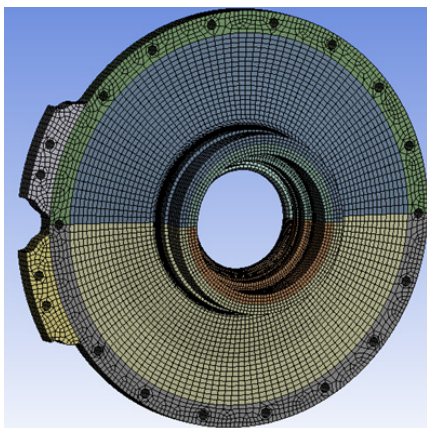


Fig. 6. Finite element model

5.1 정적 구조해석

5.1.1 경계조건 및 하중조건

변속기의 출력하우징은 브레이크 작동부를 지지하는 구조로 되어 있어, 브레이크 작동시에 하우징 내부에 높은 유압을 받게 된다. 이 때, 유압이 작용하는 부위에 KDS 3010-1014 규격을 참고하여 최대 작용력인 2.55 MPa을 하중조건으로 적용하였다^[3].

그리고 메인 하우징과 출력 하우징이 결합되는 부분은 볼트로 고정되어 결합된다. 따라서 메인 하우징과 출력 하우징이 고정되는 결합부의 모든 변위를 구속하였다. 하중조건 및 경계조건은 Fig. 7과 같이 표시 하였다.

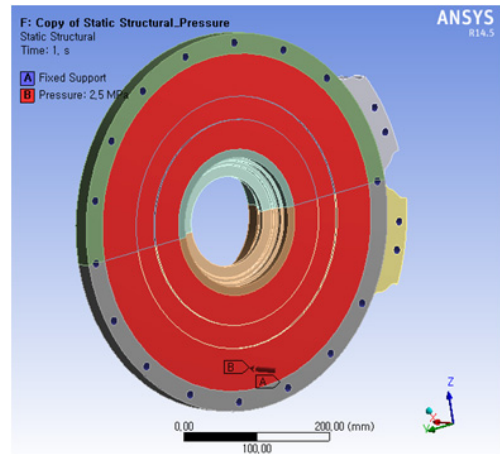


Fig. 7. Boundary condition on structural analysis

5.1.2 해석 결과

출력하우징의 정적 유한요소해석 결과, 출력 하우징의 안쪽 라운드 부위에서 최대 응력이 발생하였고, 폰-미세스(Von-Mises) 등가응력으로 87 MPa이 발생하였다. 이는 안전율이 설계목적인 183 MPa 대비 2.1정도로서, 출력하우징은 구조설계상 안전성을 갖는 것으로 판단된다. 설계목적의 허용응력은 통상 항복응력의 50%가 피로한도인 것을 고려하여 선정하였다^[4]. 유한요소해석 결과인 최대 등가응력을 Fig. 8에 최대 변형량을 Fig. 9에 각각 표시 하였다.

5.2 모달해석

출력하우징의 고유진동수를 확인하기 위하여 모달 해석을 수행하였다. 유한요소해석 모델은 구조해석과 같은 모델을 사용하였다.

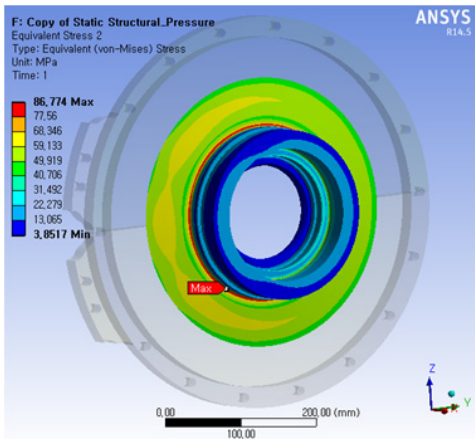


Fig. 8. Stress result by structural analysis

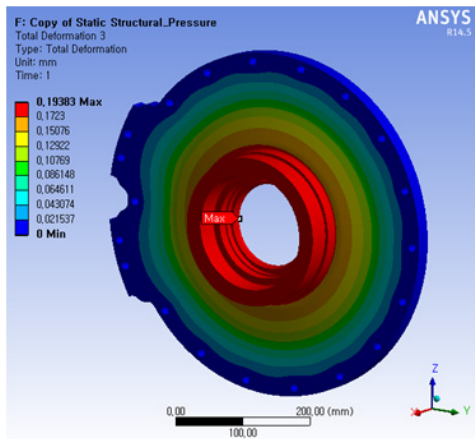


Fig. 9. Displacement result by structural analysis

구속조건은 구조해석과 같이 메인 하우징과 출력 하우징이 고정되는 결합부의 모든 변위를 구속하였다.

총 50개 모드의 고유치 해석을 수행하였으며, 해석 결과 중에 모드 기여도가 높은 1차에서 6차 모드의 주요 고유진동수와 진동모드 형상을 Fig. 10에 나타내었다.

5.3 랜덤진동해석

5.3.1 경계조건 및 하중조건

변속기 동작에 따른 가진력에 의한 응력을 확인하기 위해 모달해석 후 랜덤진동해석을 수행하였다.

가진 입력조건으로는 진동시험에서 획득된 수집 데이터의 임의 진동수 영역 범위 내의 최대 응답치에 대해 PSD 곡선을 이용하여 랜덤 진동 해석을 진행하

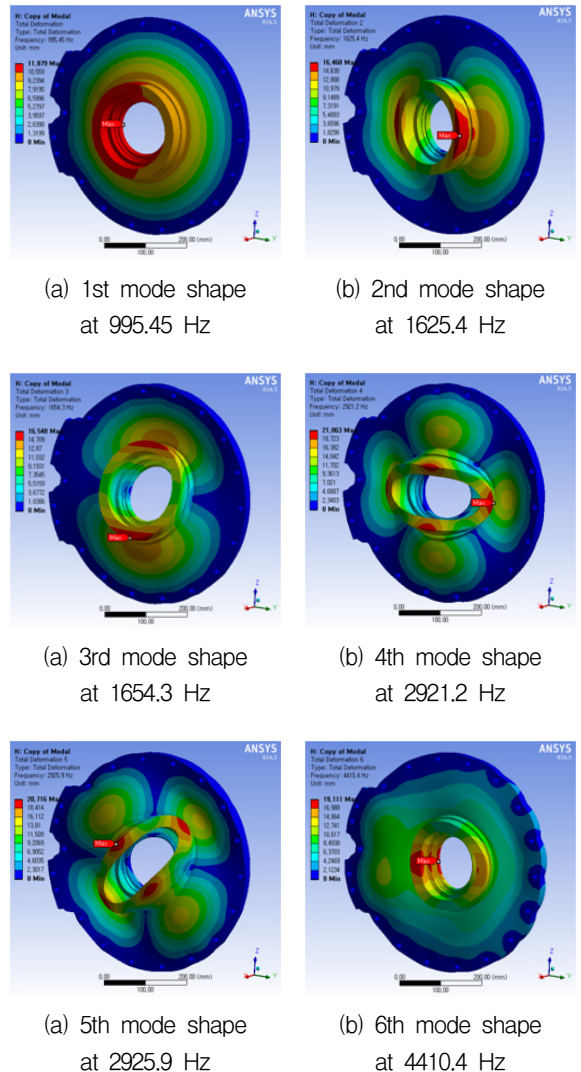


Fig. 10. Results of modal analysis

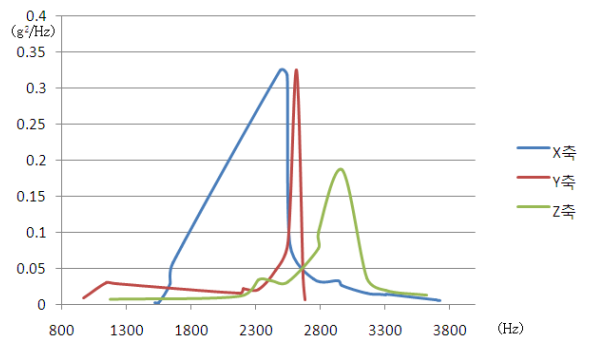


Fig. 11. PSD curves

였다. PSD 곡선은 진동시험에서 얻어진 주파수-가속도 데이터를 활용하였다. 해석에 이용한 PSD 그래프를 Fig. 11에 나타내었다.

유한요소해석 모델은 구조해석과 모달해석에서 사용한 모델을 사용하였다. 경계조건은 모달해석과 같이 메인 하우징과 출력 하우징이 고정되는 결합부의 모든 변위를 구속하고, 가진 데이터를 입력하였다. 경계조건을 Fig. 12와 같이 표시 하였다.

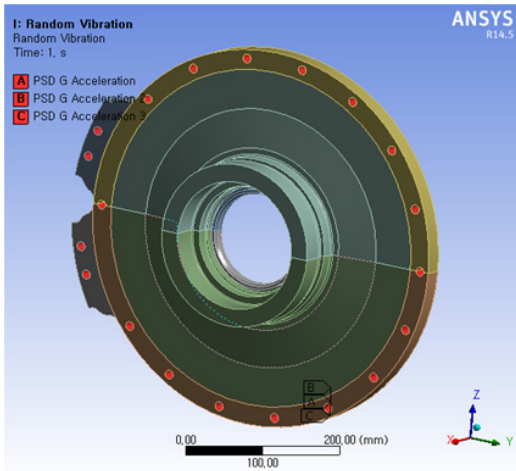


Fig. 12. Boundary condition on random vibration analysis

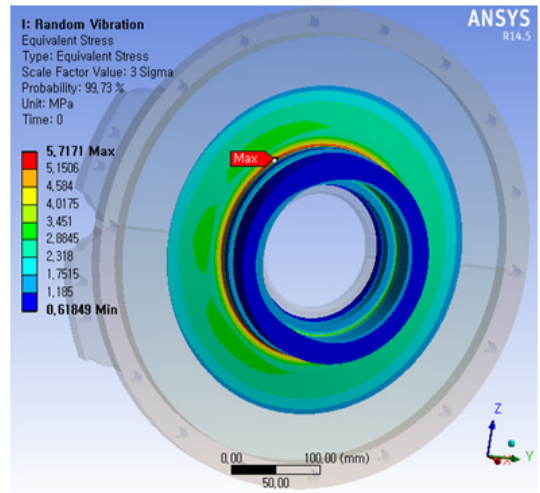


Fig. 14. Stress result by random vibration analysis

5.3.2 해석 결과

출력 하우징의 랜덤진동 해석 결과, 출력 하우징의 안쪽 라운드 부위에서 최대 응력이 발생하였고, 폰-미세스(Von-Mises) 등가응력으로 5.7 MPa 정도가 발생하였고, 출력 하우징의 최대 변형량은 0.03 mm 정도였다. 랜덤진동 해석 결과인 최대 변형량을 Fig. 13에 최대 발생응력을 Fig. 14에 각각 표시 하였다. 해석결과를 통해 진동 영향에 대한 출력 하우징의 구조건전성은 매우 안전한 것으로 판단된다.

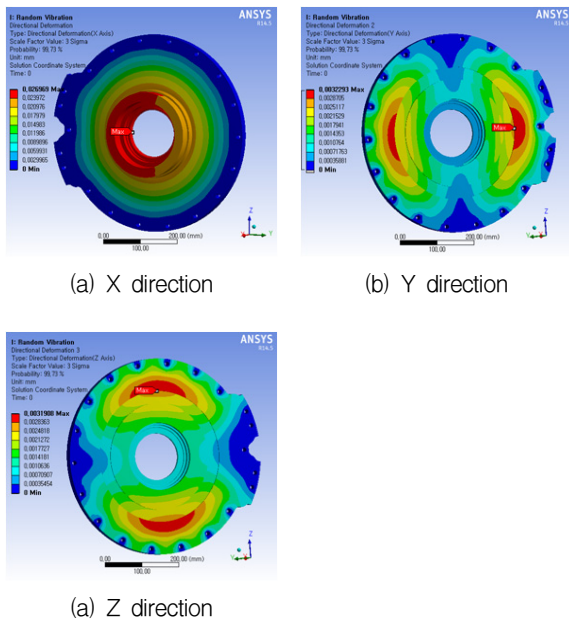


Fig. 13. Displacement result by random vibration analysis

6. 결론

본 연구는 케도차량 변속기 출력하우징의 구조건전성을 평가하기 위하여 구조해석 및 실제 장비를 대상으로 진동시험을 수행하여 얻어진 데이터를 기반으로 진동해석을 수행하였으며 이에 얻어진 결과는 다음과 같다.

- (1) 출력하우징의 재질인 A206.0-T71의 재료시험을 통하여 인장강도, 항복강도, 탄성계수를 측정하였고, 변속기 성능시험을 시행하는 다이내모 장치에서 실제 변속기를 사용한 진동시험을 통하여 출력속도(rpm)에 따른 주파수와 가속도 값을 측정하여 진동해석을 수행하였고 출력하우징의 구조건전성은 안전한 것으로 판단되었다.
- (2) 출력하우징의 설계목적 값으로 얻어진 등가응력은

183MPa이며, 구조해석을 통해 얻어진 최대응력은 87MPa으로 안전율이 2.1인 것으로 분석되었다.

- (3) 모달해석을 통하여 총 50개 모드의 고유치 해석을 수행하였으며, 800~4500Hz 구간의 고유진동수와 진동모드 형상을 확인할 수 있었다.
- (4) 랜덤진동해석 결과 출력 하우징의 안쪽 라운드 부위에서 최대응력이 발생하였고, 해석결과를 통해 진동 영향에 대한 출력 하우징의 구조건전성은 매우 안전한 것으로 판단된다.

본 연구에 적용한 궤도차량 출력하우징은 소재의 물성해석과 구조해석 및 진동해석을 통하여 구조건전성과 설계상 안전성을 확인하였다.

References

- [1] KS B 0802, "Method of Tensile Test for Metallic Materials," KS Standard, 2008.
- [2] Jung, J. W., Jung, U. W., Kim, C. S., Yu, Y. S., Park, K. C., Park, K. C. "Structural Integrity Evaluation for Crane Bracket of Armored Recovery Vehicle," KIMST, Vol. 16, No. 5, pp. 653-658, 2013.
- [3] KDS 3010-1014, "Transmission Hydraulic, X1100-5A3," Korea Defence Standard, 2000.
- [4] Nishijima satoshi, "Statistical Analysis of Fatigue Test Data," JSMS, Material, 29-316, 1980.
- [5] ANSYS, Theory Reference for ANSYS.