

탑재형 발전기 적용에 따른 이상소음 개선 방안에 관한 연구

김선진*, 김성곤, 윤성호, 신철호
국방기술품질원 기동화력5팀

A study on the way to improve abnormal noise by applying vehicle fitting type generator

Seon-Jin Kim*, Sung-Gon Kim, Seong-Ho Yun, Cheol-Ho Shin
Land system team 5, Defence agency for Technology and Quality(DTaQ)

요약 본 연구는 소형전술차량에 적용된 탑재형 발전기에 의해 발생하는 이상 소음 개선방안에 대한 것이다. 소형전술차량은 탑재형 발전기의 장착 유·무로 구분되며, 개발 시험 시 이에 따른 소음 크기의 차이는 없었다. 하지만, 차량을 운용하면서 사용자가 느끼기에 불편한 소음(이상 소음)이 발생된다는 지속적인 문제제기에 따라 품질개선을 수행하게 되었다. 품질개선을 수행하기에 앞서 탑재형 발전기 단품 및 장착 구조와 문제가 제기된 차량에 대한 현상 확인 및 원인 분석을 수행하였다. 이를 통해 탑재형 발전기 장착에 따라 발생하는 이상 소음은 래틀소음에 의한 것임을 확인하였다. 엔진 구동계에서 래틀소음이 발생하는 일반적인 원인은 엔진 폭발 행정시 발생하는 불규칙한 회전력의 전달과 엔진 연결기와 회전자 조립체 간 스플라인-세레이션 연결 구조에서 발생하는 기어 백래쉬에 의한 것이었다. 따라서, 본 연구에서는 원인으로 분석된 이상 소음의 원인을 해소하기 위해 댐퍼형 연결기를 적용하는 개선방안을 수립하였다. 개선방안에 대해서는 엔진의 불규칙한 회전력의 영향성, 소음의 정도, 동특성 해석 및 단품 내구시험 등을 통해 개선효과를 확인하였다.

Abstract This paper reports a means of improving the abnormal noise of light tactical vehicles (LTVs) by applying a vehicle fitting type generator (hereinafter called generator). LTVs are classified as having generators, and there are no differences in the noise level. On the other hand, quality improvement was performed in response to unpleasant noise felt by the user (hereinafter called abnormal noise) during vehicle operation. To improve the quality, the generator mounting structure and the phenomenon of the vehicle in the problem were identified. Through this, it was confirmed that the noise caused by the generator installation was the rattle noise. Rattle noise at the engine driving system is normally caused by the transfer of irregular torque generated by the engine power stroke and the backlash by the spline-serration fitting structure between the engine coupler and rotor assembly in a generator. Therefore, this study established an improvement plan to apply a damper coupler to solve the cause of the abnormal noise. Regarding the improved establishment method, the improvement effect was confirmed from the influence of the irregular torque of the engine, noise level, dynamic characteristics analysis, and the endurance test of the parts.

Keywords : Generator(Vehicle-Fitting-Type), Rattle-Noise, Engnie-Irregularity, Angular-Speed, Damper-Coupler

*Corresponding Author : Seon-Jin Kim(DTaQ)

email: sjkim@dtaq.re.kr

Received March 9, 2020

Accepted June 5, 2020

Revised March 30, 2020

Published June 30, 2020

1. 서론

자동차에서 발생하는 소음은 크게 엔진과 같은 기계적인 구동장치에 의한 소음과 주행 중 발생하는 공력소음 그리고 지면 마찰에 의한 마찰소음 등이 있다[1]. 자동차에서 소음은 사용자의 감성품질 만족도와 직결되기 때문에 차량 내부에서 발생하는 냉풍시트 모터의 소음 뿐만 아니라 외부에서 발생하는 엔진의 기어래틀 소음, 랙-피니언 방식의 조향시스템의 래틀소음 저감 등 다양한 부분에서 소음을 줄이기 위한 연구들이 진행되고 있다 [2-4]. 최근에는 소음을 줄이기 위한 연구 뿐만 아니라 소음원에 인공음을 입혀 가상 엔진음을 발생시키는 능동 음향 설계 알고리즘 등을 개발하여 사용자가 듣기에 편안하도록 소음을 변형시키는 연구들도 진행되고 있다[5].

이러한 다양한 연구들로 인해 승용차량들의 소음은 상당부분 개선되어 운전자가 느끼기에 불편함이 없는 수준이 되었고, 자연스럽게 군용차량의 소음에 대해서도 관심이 높아지게 되었다. 이러한 이유로 최근에는 군용차량을 포함한 군용 무기체계에 대해 소음기준을 명확히 정립하여 향후 무기체계 획득과정 간 소음으로 인해 발생하는 대상 무기체계의 작전 운용성의 제한이나 성능 그리고 규격 미비 등의 문제를 예방하기 위한 소음기준 수립에 대한 연구도 진행되고 있다[6]. 군용차량에서 소음이 발생하는 원인은 승용차량과 크게 다르지 않다. 다만, 군용차량 특성 상 고마력, 고토크가 필요함에 따라 엔진의 운용 RPM이 민수대비 높고, 소형전술차량의 경우 2:1 감속비의 허브리덕션으로 인한 구동계 회전속도 상승이 좀 더 소음을 발생시키는 원인이 된다. 또한, 군용차량에서 특별히 요구되는 성능에 대한 부품이 추가되는 경우에 따라 구동계 시스템의 복잡도에 의해 소음이 더 발생되며, 가장 큰 차이는 실내·외 흡차음재의 적용여부로 볼 수 있다.

Table 1. Comparison of noise sources passenger vehicle and military vehicle

Noise source	Passenger vehicle	Military vehicle
Engine RPM	Low	High
Driveline RPM	Low	High
Special part	-	Vehicle fitting generator etc.
Sound absorbing and insulating material	Applied	Unapplied

군용차량의 소음기준은 차량 정지 시와 주행 시에 평가하며, 주행 시에는 창문 개폐여부에 따라 측정한다. 측정 시 기준은 MIL-STD-1474, TOP 1-2- 608등을 참조하여 100 dB(A)로 설정되어 있으며, 해외 장비와 유사한 수준이다. 소형전술차량의 경우, 최대 74 dB(A) 수준으로 기준을 충분히 만족하고 있는 수준이다.

그러나, 차량이 전력화된 이후 탑재형 발전기가 장착된 차량을 운용하는 부대에서 차량의 소음에 대한 사용자 불만이 지속적으로 제기되고 있다. 탑재형 발전기는 Fig. 1 과 같이 차량의 엔진과 변속기 사이에 장착되어 차량 또는 차량의 탑재장비에 10 kW의 전원을 공급할 수 있다.

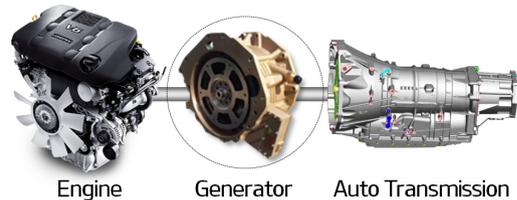


Fig. 1. The install location of vehicle fitting type generator

사용자 불만의 정확한 내용을 보면 탑재형 발전기 유/무에 의한 소음 차이가 크다는 내용이다. 하지만 개발 시 소음측정 결과를 살펴보면 탑재형 발전기 유/무에 의한 소음은 유사한 수준으로 확인되었다. 또한, 문제 제기를 한 차량에 대해 소음측정을 수행한 결과 역시 개발 당시 측정 소음과 유사한 수준이었다. 다만, 소음 자체가 사용자에게 있어 불편함을 줄 수 있는 소음(이하 이상 소음)으로 확인됨에 따라 원인분석을 통한 개선을 통해 사용자의 감성품질의 향상이 필요함을 확인하였다.

따라서, 본 논문에서는 탑재형 발전기의 구조와 문제 제기된 차량의 현상 등을 통해 탑재형 발전기가 장착된 차량에서 이상 소음이 발생하는 원인을 분석하고 이를 개선하였다. 개선방안에 대해서는 전산해석, 단품 검증시험 등을 통해 개선여부를 검증하였다.

2. 본론

2.1 탑재형 발전기 장착구조

탑재형 발전기는 앞서 언급한 바와 같이 엔진과 변속기 사이에 장착되며, Fig. 2와 같이 전원제어기를 통해

차량 후방에 장착된 장비에 전원을 공급한다. 탑재형 발전기가 미장착된 차량의 엔진과 변속기는 엔진 측의 드라이브 플레이트와 변속기의 토크 컨버터가 볼트로 체결되어 고정되는 구조이며, 토크컨버터는 변속기의 구동축과 스플라인-세레이션으로 연결되어있으며, 탑재형 발전기가 장착된 차량은 기존의 연결구조를 최대한 적용하여 탑재형 발전기와 엔진 및 변속기 연결을 위해 2개의 연결기(Coupler)를 추가하였다.

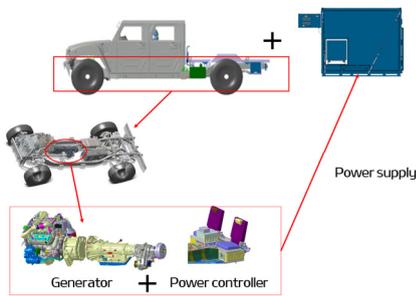


Fig. 2. System configuration of vehicle and generator

탑재형 발전기에 적용된 2개의 연결기 형상은 Fig. 3(a)와 같으며, 엔진 연결기는 Fig. 3(b)와 같이 발전기의 회전자 조립체와 스플라인-세레이션 구조로 끼워져 결합되고 엔진 연결기는 기어간 결합부에 마찰에 의한 소음 저감 등을 위해 그리스가 도포된다.

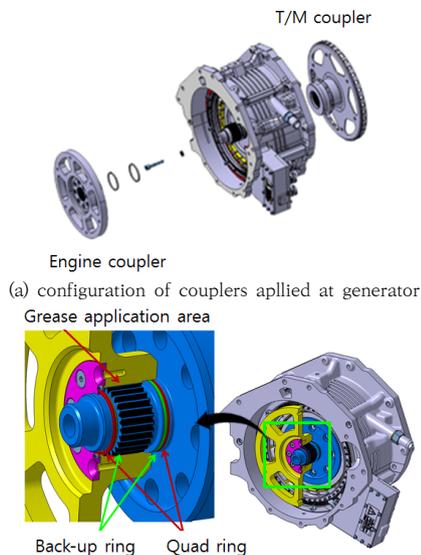


Fig. 3. The detail configuration of generator

또한, 해당부위는 그리스의 누유를 방지하기 위해 씰링(Sealing) 역할의 퀴드링과 백업링이 장착된다.

2.2 소음 발생원인 분석

엔진부터 시작하여 변속기까지 동력이 전달되는데 있어 탑재형 발전기가 장착된 차량과 장착되지 않은 차량의 차이점은 탑재형 발전기에 따른 엔진-변속기의 연결 방법이 유일하다. 따라서, 문제 제기된 차량에 대한 현상 등을 분석하고 엔진에서 발생하는 동력으로부터 변속기까지 전달되는 이동경로 분석을 통해 소음의 발생원인 검토가 필요하다.

2.2.1 문제제기 차량 확인결과

소음 발생원인 분석에 앞서 문제제기 차량에 대한 소음정도를 먼저 확인하였다. 소음 측정은 Fig. 4와 같이 국방 규격서에 명시된 절차와 방법을 그대로 활용하였다.

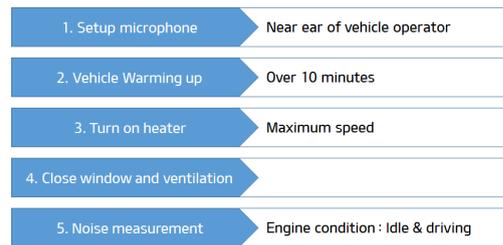


Fig. 4. The measurement flow of military vehicle noise

소음 측정은 차량 정지(엔진 Idling) 및 주행 시에 수행하였으며, 측정 위치는 운전자의 우측귀의 우측방향 15cm 위치이다. 소음 측정시에 실내 냉난방기는 최대 속도로 틀어놓았으며, 창문과 환기구 등은 모두 닫았다. 소음측정을 위한 센서 및 계측장비는 Table 2와 같고 장비 구성도 및 측정 모습은 각각 Fig. 5, Fig. 6과 같다

Table 2. The list of sensors and instrumentations for noise measurement

Equipment	Model	Purpose
Speed sensor	VBOXIII	Speed measurement and data acquisition
Microphone	B&K 4134	Convert sound-pressure-change into electric signal
Preamplifier	B&K 2669	Electric signal amplification
Power supply	B&K 2804	Power supply to microphone
Sound level calibrator	B&K 4231	Calibration of sound level signal
Octave analysis equipment	B&K 3050-A-060	Sound-pressure-level analysis by octave band

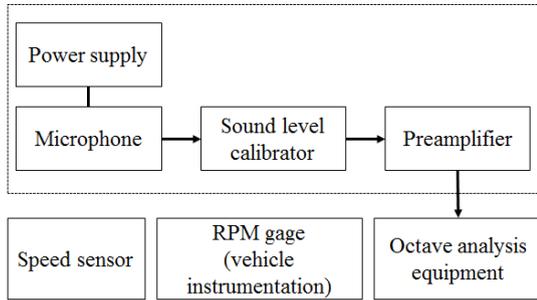


Fig. 5. The configuration of sensors and instrumentation



Fig. 6. The configuration of noise measurement

위와 같이 국방규격의 절차와 방법에 따라 문제 제기 차량에 대한 소음측정 결과, Idle 상태에서의 소음은 63 ~ 68 dB(A), 주행 중 소음은 72 ~ 75 dB(A)로 차량 개발 시 수행한 소음시험 결과와 유사한 수준이었다.

또한, 탑재형 발전기의 하드웨어 적인 측면의 문제여부를 확인하기 위해 탑재형 발전기를 차량에서 탈거하여 확인한 결과 Fig. 7과 같이 엔진 연결기 부위의 쿼드링의 손상과 이로 인해 스플라인-세레이션 부위에 도포된 그리스가 누유되어 비산된 것을 볼 수 있었다. 다만, 그리스의 비산과 소음과의 관계는 추가적인 분석이 필요하다.



Fig. 7. The appearances of damaged quad ring(left) and grease leakage(right)

2.2.2 탑재형 발전기 장착차량 이상 소음 규명

탑재형 발전기가 엔진 및 변속기와 장착되는 구조, 문제 제기된 차량의 연결기 내부의 그리스 비산 등의 현상 등을 보았을 때 탑재형 발전기 장착차량의 이상 소음은 탑재형 발전기에 장착된 연결기에 의한 것으로 판단되며, 특히, 그리스의 누유가 확인된 엔진 연결기 부위의 스플라인-세레이션의 기어에 의한 것으로 보인다.

차량에서 기어에 의한 소음은 일반적인 것으로 크게 와인소음(Whine noise)과 래틀소음(Rattle noise)로 볼 수 있다. 와인소음은 기어 간의 주기적인 접촉의해 발생하는 소음으로 Fig. 8과 같이 좁은 영역에서 나타나며, 회전수 증가에 따라 비례적으로 주파수의 크기도 증가한다. 와인소음은 기어의 기어 제작의 정확도 부족, 공차 설정 미흡과 같은 설계적인 문제에 의해 발생된다[7-8].

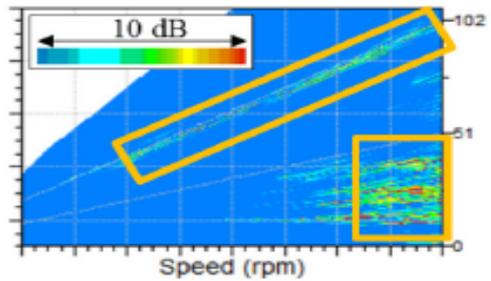


Fig. 8. The color map pattern of whine noise[7]

이해 반해 래틀소음은 기어간 치합에 의한 반복적인 충격에 의해 발생하는 충격 소음으로 Fig. 9와 같이 넓은 영역에서 나타난다. 래틀소음은 불균일한 동력 전달에 의한 각속도의 변동과 기어의 백래쉬(Backlash)의 혼합적인 요인에 의해 발생하는 소음이다[7, 9].

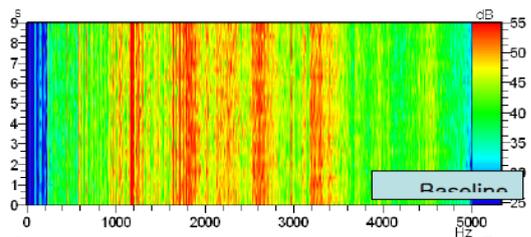


Fig. 9. The color map pattern of rattle noise[9]

이러한 두 소음은 확연하게 차이가 나타나는 것으로 탑재형 발전기가 장착된 차량에서 발생하는 소음의 형태

및 장착구조 등을 분석해보았을 때, 탑재형 발전기가 장착된 차량에서 발생하는 이상 소음은 래틀소음으로 확인된다.

2.2.3 이상 소음 원인 분석

앞서 확인한 바와 같이, 래틀소음은 불규칙한 동력의 전달과 동력을 전달받아 회전하는 기어의 백래쉬에 의해 기어간 마찰이 일어나며 발생하는 소음이다. 이를 탑재형 발전기가 장착된 구조에 대입해보면, 기어의 백래쉬는 엔진 연결기가 탑재형 발전기의 회전자 조립체와 연결되는 구조(스플라인-세레이션 끼움 구조)에서 찾아볼 수 있으며, 불규칙한 동력의 전달은 엔진으로 볼 수 있다. 실제로 연구 결과들에 따르면, 디젤엔진의 구동 기어에서 발생하는 래틀소음은 엔진의 불규칙한 회전(Engine speed irregularity)에 의한 구동기어의 각속도 변동(Angular speed fluctuation)이 원인이며, 크랭크 축 각속도의 변동은 엔진의 한 사이클 내에서의 불연속적인 연소에 의해 발생됨을 보여주고 있다[8, 10].

실제로 소형전술차량의 엔진에서 발생하는 엔진의 불규칙한 회전이 탑재형 발전기에 미치는 영향을 알아보기 위해서 엔진의 회전이 그대로 전달되는 크랭크 축에 대한 불규칙 회전여부를 확인하였다. 그 결과, Fig. 10과 같이 3-order(1회전에 3번 폭발하는 엔진) 성분에서 크랭크 축의 불규칙한 회전(Crank irregularity)가 확인되었다.

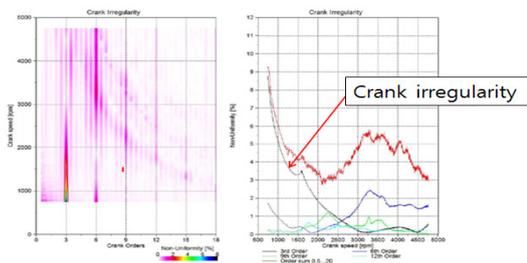


Fig. 10. Crank irregularity

위와 같이 엔진에서 발생하는 불규칙한 회전의 전달은 엔진의 드라이브 플레이트를 통해 탑재형 발전기에 동력을 전달하게 되므로, 엔진의 불규칙한 회전이 탑재형 발전기의 엔진 연결기에 어떻게 영향을 주게 되는지 Fig. 11과 같이 두 부위에 대한 각속도를 측정하였다.

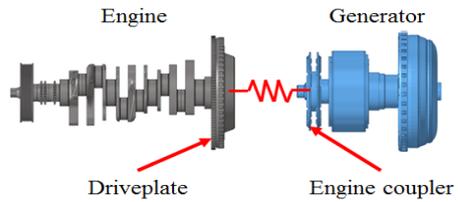


Fig. 11. The configuration of crank irregularity measurement

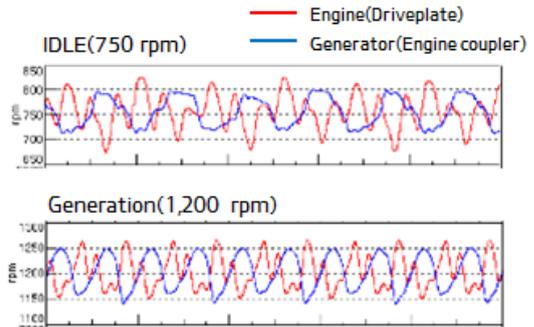


Fig. 12. The results of angular velocity between crank shaft and engine coupler

그 결과, Fig. 12와 같이 공회전 조건(750 rpm) 및 발전 조건(1,200 rpm)에서 모두 엔진과 엔진 연결기의 각속도가 반대 위상차를 가지는 것으로 확인되었다. 이와 같이 회전체에서 지속적으로 반대 위상의 힘이 작용함에 따라 엔진 연결기와 회전자조립체간 스플라인-세레이션 기어가 불균일한 회전력에 의해 마찰되며 이상 소음이 발생된 것으로 확인되었다.

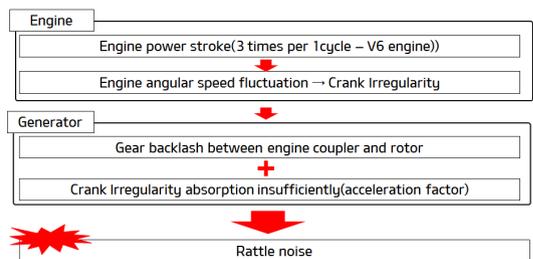


Fig. 13. The flow of rattle noise generation

결과적으로 탑재형 발전기가 장착된 차량에서 이상 소음이 발생하는 원인과 발생 흐름은 Fig. 13 과 같이 정리할 수 있다.

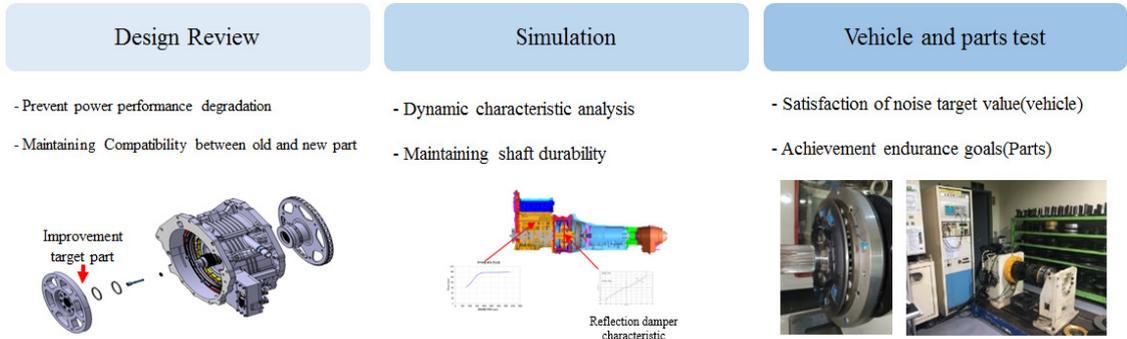


Fig. 14. The Procedure of abnormal noise improvement

2.3 이상 소음 개선방안

탑재형 발전기 장착 차량에서 발생하는 이상 소음에 대한 개선방안 수립에 앞서, 개선 추진 절차와 이에 대한 검증 방안을 Fig. 14와 같이 수립하였다. 먼저, 개선 부품은 동력성능의 유지 및 기존 부품과의 장착 호환성을 고려한 부품 설계가 필요하며, 개선된 부품에 대해서는 시뮬레이션을 통한 문제점 해소 여부, 축의 내구성 유지 여부를 확인하고 마지막으로 실차상태로 목표 소음 값 만족여부 및 개선부품에 대한 내구성 만족여부를 확인하는 것을 목표로 하였다.

탑재형 발전기가 장착된 차량에서 발생하는 이상 소음 문제를 해소하기 위해 가장 간단한 방법은 소음의 원인이 되는 엔진의 불규칙한 회전력과 엔진 연결기와 탑재형 발전기의 회전자 조립체를 연결하는 스플라인-세레이션의 기어 백래쉬를 없애는 것이다. 하지만, 엔진의 불규칙한 회전력은 모든 엔진에서 발생하는 것으로 그 자체를 해소하는 것은 제한된다. 또한, 기어의 백래쉬를 없애는 것 역시 제품의 양산성을 고려한 작업성 등을 고려하여 개선에 제한이 있다. 따라서 이를 개선하기 위해서는 기어의 백래쉬와 엔진에서 발생하는 불규칙한 힘을 상쇄

할 수 있는 기능을 갖도록 엔진 연결기를 변경하는 것이 가장 현실적인 대안으로 볼 수 있다. 또한, 이와 같은 개선방법을 적용할 경우 기존에 운용되는 차량에도 호환성을 유지할 수 있다는 장점이 있다.

개선방안을 수립하기 위해 엔진-변속기 구동계에 대해 확인한 결과, 엔진의 동력을 전달받기 위해 수동변속기는 클러치디스크와 클러치커버, 자동변속기는 토크컨버터가 장착된다. 여기서 동력 전달을 위한 부품인 클러치 디스크와 토크컨버터를 살펴보면 클러치 디스크의 경우 댐퍼스프링, 자동변속기의 경우 토크컨버터 내의 유체가 댐퍼 역할을 한다는 것을 알 수 있다. 이는 크게는 갑작스러운 회전력이 작용하였을 때 이를 감쇠시키는 것이 주 역할이지만, 미세한 진동에 대한 억제효과도 있다고 볼 수 있다. 따라서, 탑재형 발전기가 장착된 차량의 이상 소음을 유발하는 엔진 연결기를 댐퍼기능을 갖도록 개선하는 방법이다.

개선방법은 쉽게 두 가지로 볼 수 있다. 하나는 엔진 연결기를 토크컨버터로 대체하는 방법과 클러치 디스크와 같이 댐퍼 스프링을 추가하는 방법이다. 그러나 엔진 연결기를 토크 컨버터로 대체하는 방법은 유체의 힘을

Table 3. The difference between before and after through improvements

	Before	After
Engine coupler configuration		
Quad and Backup ring	O	X
Grease application	O	X

이용한 두 개의 부품이 연결될 경우, 유체의 마찰력과 관성력으로 인해 엔진의 동력이 원활하게 전달되지 않을 수 있어 제외하였다.

또한, 탑재형 발전기가 장착된 차량에서 발생하는 이상 소음과 함께 전체적인 소음의 정도를 줄여 차량의 감성품질을 향상시키기 위해 차량 공회전 시 실내소음 60 dB(A)를 목표로 개선을 추진하였다. 부품 개선을 위해 엔진의 동력특성, 공진 가능성 등을 고려하여 Fig. 15와 같은 형상과 성능을 갖는 댐퍼형 연결기를 개발하였으며, 최종 변경 전·후 사양은 Table 3과 같이 정리할 수 있다.



Fig. 15. The configuration and specifications of damper coupler

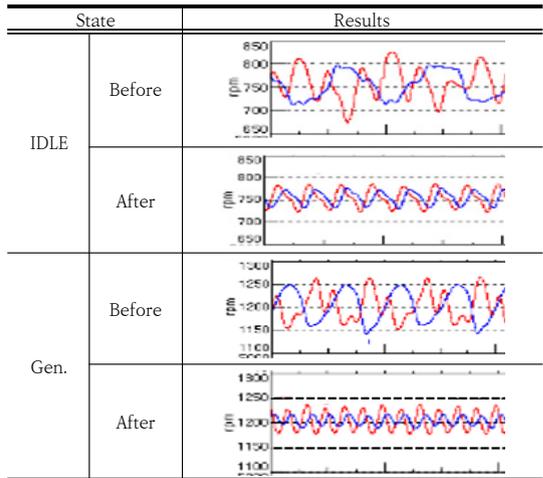
2.4 소음 개선결과 검증

탑재형 발전기 장착차량에서 발생하는 이상 소음에 대한 품질개선을 위해 탑재형 발전기의 엔진 연결기 사양을 변경하였다. 변경된 사양에 대해 가장 중요한 이상 소음의 개선여부 그리고 전반적으로 소음에 대한 감성품질 향상을 위한 소음 개선결과를 확인하였으며, 축계에 대한 동특성 및 내구해석과 변경된 부품에 대한 단품 내구성 검증 등을 수행하였다.

먼저, 개선된 부품을 적용하여 래틀소음을 일으키는 요인이었던 불균일한 각속도의 영향성에 대한 개선여부를 확인하기 위해 Fig. 12와 동일한 시험을 수행하였다. 그 결과 Table 4와 같이 개선품을 적용하였을 때 각속도의 위상차가 거의 없어짐을 확인할 수 있었다.

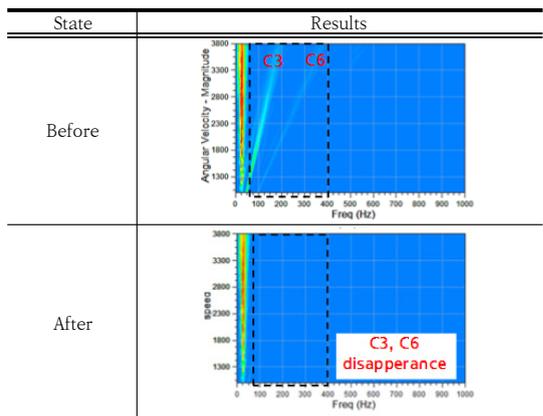
추가적인 목표로 수립하였던 ILDE 상태에서 60 dB(A) 이하의 소음 역시 개선품을 적용하였을 때 54 dB(A)로 이는 3,000 km 주행 전·후 유사한 수준으로 확인되어 전반적인 소음 역시 감소되었음을 확인하였다.

Table 4. The difference of angular velocity between before and after through improvements



댐퍼형 연결기 적용에 따른 동특성 해석을 통해 엔진에서 발생하는 불규칙한 힘에 의한 각속도 변동이 탑재형 발전기의 엔진 연결기에 전달되는 지를 확인하였다. 이를 위해 댐퍼형 연결기의 댐퍼 특성을 적용하여 해석한 결과, Table 5와 같이 기존의 연결기에서는 엔진의 각속도 변동이 탑재형 발전기에 영향을 주었지만, 개선된 부품을 적용하였을 때는 영향을 주지 않는 것으로 확인되었다.

Table 5. The difference of angular velocity between before and after through improvements



또한, 변경된 부품에 의해 회전자 조립체 축계의 내구성 저하가 우려되어 축계 내구성을 확인한 결과 최소 피로 안전율 5.62로 최소요구도인 1.2를 훨씬 상회하는 것

으로 확인되었다.

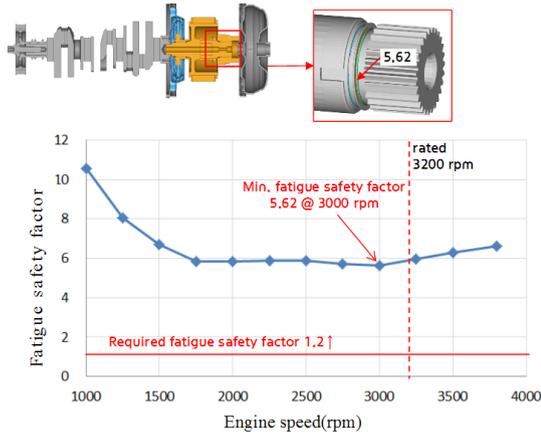


Fig. 16. The analysis results of shaft fatigue safety factor

마지막으로 댐퍼형 연결기에 대한 단품 내구 만족여부를 확인하기 위해 고속 회전 시 단품 강도 검토를 위한 버스트(Burst)시험과 실제 작동조건인 비틀림 하중을 받을 때를 재현한 비틀림 내구시험을 진행하였다. 버스트 시험은 5,400 rpm으로 5분 회전 후 부품의 파손 여부를 확인하는 시험이며, 비틀림 내구 시험은 엔진 최대 토크의 1.8배로 100만회 비틀림 반복회전 후 기본성능 및 부품의 파손 여부 등을 확인하는 시험이다. 두 가지 시험을 통해 댐퍼형 연결기의 내구성을 검증한 결과 모두 규격을 만족함을 확인하였다.

위와 같이 탑재형 발전기의 이상 소음 문제 해소를 위해 분석한 원인과 개선방안에 대해 시험 및 해석을 통해 검증함으로써 개선여부를 검증할 수 있었다.

3. 결론

소형전술차량에 탑재형 발전기 장착 유·무에 따른 소음의 크기에는 큰 차이는 없었으며, 정해진 규격도 모두 만족한다. 하지만, 사용자가 느끼기에 불쾌한 이상 소음이 발생된다는 문제제기를 통해 품질개선의 필요성을 확인하였다.

품질개선을 수행하기에 앞서 탑재형 발전기에 대한 장착구조를 분석하고, 문제가 제기된 차량에 대한 현상을 확인하였으며, 탑재형 발전기에서 발생하는 이상 소음이 래틀소음을 규명하였다. 래틀소음을 개선하기 위해 래틀소음이 발생하는 원인은 다음과 같았다.

1. 엔진의 불규칙한 회전력에 의한 각속도의 변동
2. 탑재형 발전기의 엔진 연결기의 기어 백래쉬
위와 같은 원인분석 결과를 토대로 품질개선을 수행하기 위한 방안으로 엔진에서 발생하는 불규칙한 회전력을 상쇄할 수 있는 댐퍼형 연결기를 개발하였다.
새로 개발된 댐퍼형 연결기를 적용하여 품질개선 효과를 검증하기 위해 다음과 같은 검증을 수행하였다.

1. 엔진의 각속도 변동이 탑재형 발전기의 엔진 연결기에 미치는 영향성 확인 결과 개선 전에는 서로 반대 위상을 보이던 패턴이 개선 후에는 거의 일치하는 위상을 보였다.
2. 전반적인 차량의 실내소음은 10 dB(A)정도 감소한 효과를 확인하였다.
3. 댐퍼형 연결기 적용에 따라 동특성 해석 결과 엔진의 각속도 변동이 탑재형 발전기에 영향을 미치지 않음을 확인하였고 축계 피로내구도 만족하였다.
4. 댐퍼형 연결기의 비틀림 내구 및 버스트 시험결과 규격을 만족하였다.

최종 검증 결과를 바탕으로 탑재형 발전기 장착차량에서 발생하는 이상 소음의 원인 뿐만 아니라 전반적인 차량의 실내소음 개선을 통해 차량의 감성품질을 향상시킬 수 있었다.

References

- [1] C. W. Kim, Y. W. Kim, S. H. Kim, "Shape optimization of side mirror for the reduction of aeroacoustic", *Proceedings of KSNVE Fall Conference*, Korean Society for Noise And Vibration Engineering, Gyoungju, Korea, pp.117-118, October, 2013.
- [2] J. H. Kim, C. U. Cheong, D. H. Jang, M. G. Kim, "Development of high performance and low noise compact centrifugal fan for cooling automotive seats", *Proceedings of KSME Spring Conference*, The Korean Society of Mechanical Engineers, Jeongseon, Korea, pp.51-52, April, 2018.
- [3] C. H. Lee, W. S. Park, J. K. Rhee, "Improvement of the gear rattle noise for diesel engine", *Proceedings of KSAE Fall Conference*, The Korean Society Of Automotive Engineers, Goyang, pp.436-440, Korea, November, 2014.
- [4] M. H. Han, S. J. Kim, J. Y. Lee, K. I. Kim, J. K. Song, J. S. Shim, S. J. Kil, "A study on reduction of rattle noise in rack and pinion of steering system", *Proceedings of KSAE Spring Conference*, The Korean Society Of Automotive Engineers, Seoul, Korea, pp.722-727, April, 2008.

- [5] K. Kim, S. H. Ryu, J. H. Jang, M. H. Lee, S. H. Kim, D. C. Park, Y. S. Lee, "Implementation of active sound design system for improvement of car engine sound quality", *Proceedings of KSNVE Spring Conference*, Korean Society for Noise And Vibration Engineering, Jeju, Korea, pp.280-281, April, 2015.
- [6] W. J. Yang, S. L. Choi, H. J. Kim, K. M. Kang, Guidebook of noise criteria for ground weapon systems, Technical report, Defense agency for Technology and Quality, Korea, pp.1-9
- [7] B. Klarin, T. Resch, C. Sessarego, G. Spanu, G. Lamonaca, "Numerical investigation in a gear drive of an engine balancing unit with respect to noise, friction and durability", *Society of Automotive Engineers*, No. 2015-24-2526, June, 2015.
DOI: <https://doi.org/10.4271/2015-24-2526>
- [8] Q. Zhang, Y. B. Wang, J. H. Lv, Z. G. Zhu, Z. Qin, S. K. Lyu, "Study on the reduction of gear whine noise in diesel engine gear train", *Journal of the Korean Society for Precision Engineering*, Vol. 36, No. 9, pp.867-873, September, 2019.
DOI: <https://doi.org/10.7736/KSPE.2019.36.9.867>
- [9] K. Y. Soh, S. B. Choi, K. T. Kang, "Gear rattle noise optimization of medium duty diesel engine", *Proceedings of KSNVE Spring Conference*, Korean Society for Noise And Vibration Engineering, Jeju, Korea, pp.67-68, April, 2010.
- [10] S. S. Pae, I. K. Lim, S. W. Kim, E. S. Kim, "Analysis of the crankshaft speed fluctuation in intra-cycle", *Transactions of The Korean Society of Automotive Engineers*, No. 96370037, pp. 166-172, March. 1996.

김 선 진(Seon-Jin Kim)

[정회원]



- 2013년 2월 : 한국항공대학교 기계공학과 졸업
- 2019년 2월 : 전남대학교 대학원 기계공학과 졸업(공학석사)
- 2013년 3월 ~ 현재 : 국방기술품 질원 연구원

<관심분야>

군용차량 설계 및 품질관리

김 성 곤(Sung-Gon Kim)

[정회원]



- 2003년 2월 : 한양대학교 기계공학과(공학석사)
- 2013년 1월 ~ 2012년 7월 : 삼성 전자 컴퓨터시스템사업부 책임연구원
- 2012년 7월 ~ 현재 : 국방기술품 질원 선임연구원

<관심분야>

군용차량 및 특장차량 설계 및 품질관리

윤 성 호(Seong-Ho Yun)

[정회원]



- 2016년 2월 : 한국해양대학교 기계공학과 졸업
- 2019년 12월 ~ 현재 : 국방기술품 질원 연구원

<관심분야>

군용차량 설계 및 품질관리

신 철 호(Cheol-Ho Shin)

[정회원]



- 2012년 2월 : 고려대학교 기계공학과 졸업
- 2014년 8월 : KAIST 기계공학과(공학석사)
- 2014년 8월 ~ 현재 : 국방기술품 질원 연구원

<관심분야>

군용차량 및 전자 퀘도류 설계 및 품질관리