

## 군용차량용 엔진일체형 직렬 발전기 부식 방지에 관한 연구

강태우<sup>1\*</sup>, 김성곤<sup>1</sup>, 신철호<sup>1</sup>, 이계섭<sup>2</sup>  
<sup>1</sup>국방기술품질원, <sup>2</sup>기아자동차

### A Study on the Corrosion Prevention of the Integral Series Generator for Military Vehicles

Tae-Woo Kang<sup>1\*</sup>, Seong-Gon Kim<sup>1</sup>, Cheol-Ho Shin<sup>1</sup>, Kye-Sub Lee<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Land-system Center, Defense Agency for Technology and Quality(DTaQ)

<sup>2</sup>Military Vehicle R&D Group, Kia Motors Co.

**요약** 군용차량은 별도의 발전기 장착공간을 마련하지 않고 엔진과 연결되어 발전하는 엔진일체형 직렬 하이브리드 발전기를 통해 전력을 생산한다. 그러나 발전기와 엔진 간 연결 방식이 가지는 기계적 특성에 따라 내부 방청 및 윤활용 그리스가 비산하여 산화철이 발생했다. 산화철이 시동기에 고착되어 시동성능이 저하되고 기어마모에 따른 레틀 소음이 증대되는 문제가 발생하였다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 엔진의 연결 스플라인 재질 및 표면처리를 개선하고 형상을 그리스 밀봉형으로 변경하여 내부의 산화철 발생을 방지하였다. 축계를 구성하는 발전기 연결기의 형상이 변경됨에 따라 비틀림 내구 시험을 통해 구조의 건전성을 확인하였다. 또한 실차 부하시험을 통하여 내부 부식 없이 목표한 내구수명 동안 부식이 발생하지 않음을 검증하였다. 그리스 비산 방지구조가 실제로 산화철의 발생을 억제함으로써 발전기에서 발생하는 소음을 감소시키는지 확인할 수 있었다. 본 논문은 엔진과 변속기 사이에 장착하는 직렬 하이브리드 발전기에서 발생하는 배부 부식을 방지하여 시동기의 성능저하 현상과 소음 발생 현상에 대한 근본적인 해결방안을 제시하였다고 할 수 있다.

**Abstract** The military vehicle produces electric power through an engine-integrated serial hybrid generator that is connected to the engine and does not have a separate generator installation space. However, depending on the mechanical characteristics of the connection between the generator and the engine, iron oxide for internal rusting and lubrication grew scattered. The iron oxide is adhered to the starter to deteriorate the starting performance, and there is a problem that the noise of the leg due to wear of the gear is increased. To solve this problem, the connection spline material and the surface treatment of the engine were improved and the shape was changed to a grease sealing type to prevent the generation of iron oxide inside. As the shape of the generator connector composing the shafting system was changed, the integrity of the structure was confirmed through the torsional endurance test. In addition, through the actual vehicle load test, it was verified that no corrosion occurred during the target life span without internal corrosion. It was confirmed that the anti-scattering structure of the grease effectively suppresses the generation of iron oxide, thereby reducing the noise generated from the generator. In this paper, we propose a fundamental solution to the degradation of the starter and the noise generation by preventing the back corrosion caused by the serial hybrid generator installed between the engine and the transmission.

**Keywords** : Engine Coupler, Transmission Coupler, Rotor Shaft, Corrosion, Rust Iron

\*Corresponding Author : Tae-Woo Kang(DTaQ)

Tel: +82-55-279-4172 email: twkang317@dtaq.re.kr

Received February 15, 2019

Revised April 11, 2019

Accepted June 7, 2019

Published June 30, 2019

## 1. 서론

통신 및 정비용 군용차량은 탑재된 장비에 전원공급을 위하여 Fig. 1과 같이 차량에 발전기를 탑재하며, 엔진일체형 직렬 하이브리드 형식의 발전기(00KW)를 장착하고 있다. 회생에너지와 엔진의 동력을 통해 발전하는 HEV, PHEV 차량에서 사용하는 하이브리드 발전기와 유사한 발전기로 일반차량에서 사용되는 차량용 발전기보다 높은 전류를 생산한다[1,2].

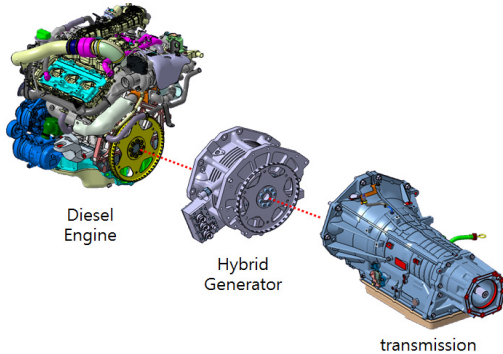


Fig. 1. Lay out of Hybrid Generator

차량의 엔진룸 내부에 엔진과 일체형으로 장착되기 때문에 한정된 공간 내에 발전기를 장착할 수 있는 사양으로, 공간 활용성이 뛰어나다. 현재는 탑재 장비의 운용에 필요한 전력만을 생산하고 있으나 최근 민간차량의 하이브리드 개발과 더불어 군용차량에서 하이브리드 차량의 배출가스 저감, 연료저감, 기동성, 스텔스 특성, 정비성 등 하이브리드 동력시스템의 장점을 파악하고 연구개발이 활발히 이루어지고 있다[3,4].

하이브리드 발전기의 공간 활용성이 장점이라면, 발전기를 직렬로 연결하는데서 오는 소음발생과 시동 성능 저하 현상이 단점이라고 할 수 있다. 기존연구에서는 고정자 코어의 형상, 권선 및 회전자 스텝 스크류를 적용

하여 진동, 소음 개선연구를 하였고[5], 시동성능 저하 현상은 GCU의 최적 설계를 통하여 개선 가능함을 확인하였다[3].

그럼에도 불구하고 실제로 군에서 운용하는 차량에서 소음발생과 시동 성능저하 현상이 발생하였다. 이러한 엔진과 발전기의 시험 간 소음 및 시동성 문제를 해결하기 위하여 2가지 개선방안을 도출하여 개선을 추진하였다.

본 연구에서는 통신 및 정비용 군용차량에 장착된 엔진-하이브리드 발전기 연결부위에서 발생한 방청 현상에 대하여 그 원인을 검토하고 이에 대한 개선을 추진하였다. 개선을 위하여 엔진연결기의 재질 및 표면 경도를 개성하였고 연결 축계의 형상을 변경하고 오일씰을 추가하여 설계개선을 하였고, 축계의 구조적 건전성을 확인하기 위하여 비틀림 실험을 실시하였고 완성품의 실차 내구 실험을 실시하였다.

## 2. 고장원인 분석

### 2.1 발전기 구성 및 기능

통신장비 탑재용 및 정비장비 탑재용 군용차량에 사용되는 탑재형 발전기는 쉘터 내부의 장비를 운용하기 위해 운행 간 또는 정지 간 전원공급을 위하여 발전을 한다. 발전기는 Fig. 1과 같이 엔진과 변속기 사이에 장착되며 엔진으로부터 전달된 회전력으로 영구자석이 부착된 회전자 조립체를 회전시킨다. 이때, 전류가 발생되며, Fig. 2와 같이 전류를 전원제어기에서 단상의 교류 220V의 고전압 전원으로 변환시켜 탑재 장비에 공급한다. 엔진과 변속기를 연결할 때 엔진연결기를 사용하며, 엔진연결기 조립 시 Fig. 3의 스플라인부에 내열 그리스를 도포하여 방청 및 윤활을 돕는다.

### 2.2 고장현상 분석

500시간 실차 10kw발전기부하시험 중 약 50시간이 경과한 시점에서 하체로부터 소음이 지속적으로 발생하였고 얼마 지나지 않아 시동기의 고착으로 엔진시동 불가 및 내부 분리 제한 현상이 발생되었다. 군용차량과 같이 기동성능이 중요한 장비에서 시동기 고착에 의한 엔진 시동 불가 및 꺼짐 현상은 원활한 작전 수행을 저해하는 치명적인 결함이라고 할 수 있으며 이때 발생하는 소음 또한 감성품질의 저하를 발생시키는 중요한 요소이다.

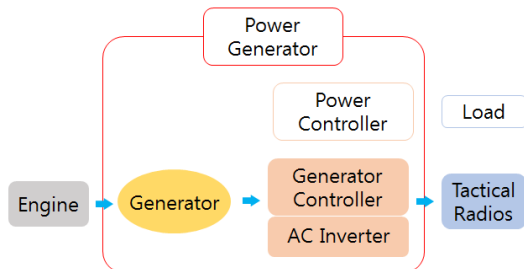


Fig. 2. System of Power Generator

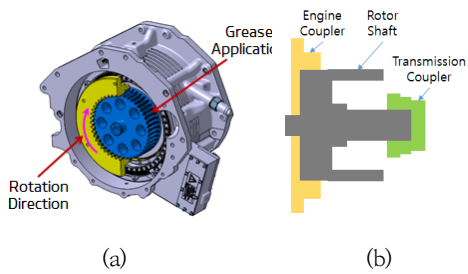


Fig. 3. Schematic of Generator  
(a)Grease Application, (b)Schematic of Generator Coupler

군용차량의 시동기 고착 및 분리 제한 현상을 확인하기 위하여 분해한 결과 Fig 4.의 (a), (b)와 같이 시동기에 산화철이 고착되어 있었으며, 그 산화철은 Fig 4. (c), (d)와 같이 엔진 내부 부식에 의해 발생됨을 확인하였다.

부식의 발생 원인으로는 엔진과 발전기 연결부위에 최초 도포된 내열 그리스가 엔진의 지속적인 회전으로 인해 비산하여 정상적인 방청 및 윤활작용을 수행하지 못하기 때문이다. 이에 따라, 스플라인에 부식이 발생하고 지속적으로 마찰되며 스플라인부의 마모, 래들 소음 발생, 시동기 산화철 고착 현상을 확인할 수 있었다[6]. 주요 고장현상 및 추정 원인에 대해서는 Table 1.에 나타내었다.

Table 1. Probable Cause

Failure Phenomenon	Probable Cause
Coupler	Deterioration of Rust Prevention Performance due to Grease Scattering
Noise	Coupler Spline Rust, Wear
Can not Start	Rust Fixation on Starter

### 3. 설계 개선 및 검증

#### 3.1 설계 개선

Table 2. Material Chemical Composition

(wight %)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
SCM420H	0.17~0.23	0.15~0.35	0.60~0.90	0.03 ↓	0.03 ↓	0.85~1.25	0.15
SCM820PRH	0.17~0.23	0.50~0.70	0.45~0.75	0.02 ↓	0.03 ↓	1.95~2.25	0.33~0.43

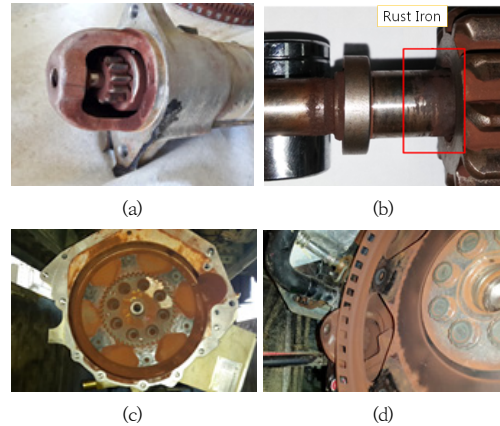


Fig. 4. Decomposition Result  
(a)Engine Starter, (b)Rust Iron stuck at Starter  
(c), (d) Before Improvement Result

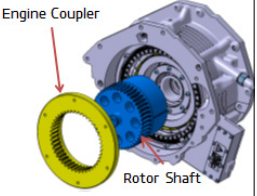
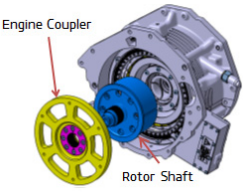
시동불가 현상에 대한 원인 분석 결과에 따라 엔진과 발전기의 연결부위 부식 방지를 위하여 2가지 개선을 추진하였다.

첫 번째로 소재를 변경하고 표면처리 방법을 개선하여 소재의 강도를 높였다. Table 2.와 같이 표면경화용 기어나 축에 많이 사용되는 열처리용 강재인 크롬 몰리브덴 강재 중 표면 담금질용으로 사용되는 기존의 SCM420H에서 기존 고강도 강재에 대비하여 각종 피로강도가 30% 이상 높은 침탄용 초고강도강인 SCM820PRH로 변경하였다.

또한 보호피막처리를 인산염 피막에서 무전해 니켈도금으로 변경하여 표면 경도를 Hv 650에서 Hv 700이상으로 변경하였다[7].

두 번째로 연결기의 형상을 그리스 밀봉구조로 변경하기 위하여 발전기 회전자 연결부와 엔진 연결기의 형상을 Table 3.와 같이 엔진 연결기의 결합부를 줄이고 넓어진 면부위를 파내어 전체적인 중량을 줄이는 변경을 하고 쿼터링(quad ring)과 백업링(backup ring)을 추가하였다.

Table 3. Generator conFiguRation Before/After Iprovement

			
Engine Coupler tooth	45	Engine Coupler tooth	27
Diameter	∅180.0	Diameter	∅54.0
Rotor Shaft(kgf)	14.5	Rotor Shaft(kgf)	8.2
Engine Coupler wight (kgf)	8.2	Engine Coupler wight (kgf)	7.1

### 3.2 개선 검증

2가지 개선안에 대한 영향성을 보기 위하여 발전기 축계에 대한 비틀림 내구 시험과 완성 시제품을 실차에 적용하여 10kw의 부하에서 500시간동안 내구도 시험을 실시하였다.

밀봉구조 적용에 따른 제품의 구조 건전성 및 내구성을 확인하기 위하여 Fig 6. (a)의 발전기 축계에 대한 비틀림 내구 시험을 실시하였다[8]. 시험기는 미국의 MTS社の 215.4비틀림 시험기를 사용하여 구성하였고 비틀림 토크는 ±1,700N.m으로 시험기의 가진 주파수는 3 Hz로 하여 100만 cycle 시험을 실시하였다. 시험 결과 Fig. 6. (b),(c)와 같이 외관 비파괴 검사인 PT(Penetrant Testing) 결과 크랙 및 파손이 없어 내구 수명에 이상이 없음을 확인할 수 있었다.

500 시간 실사 시험을 통해 변경된 완성 발전기에 대한 이상유무와 기존 시험간 발생한 산화철에 의한 시동기 고착 및 소음 증대를 확인하였다.

시험평가의 기준으로는 주행거리 5,000km, 10kw 발전기 부하 500시간 완료 후 산화철의 발생이 없고 실내 소음이 초기 측정 값 대비 3dBA 이상 증가 하지 않을 것을 목표로 하였다. 시험장비는 Fig 7. (a)의 시험차 쉘터에 Fig 7. (b)와 같이 전구와 팬으로 된 10kw 부하를 연결하여 시험을 진행하고, 차량의 내부 운전석에서 소음을 측정하였다.

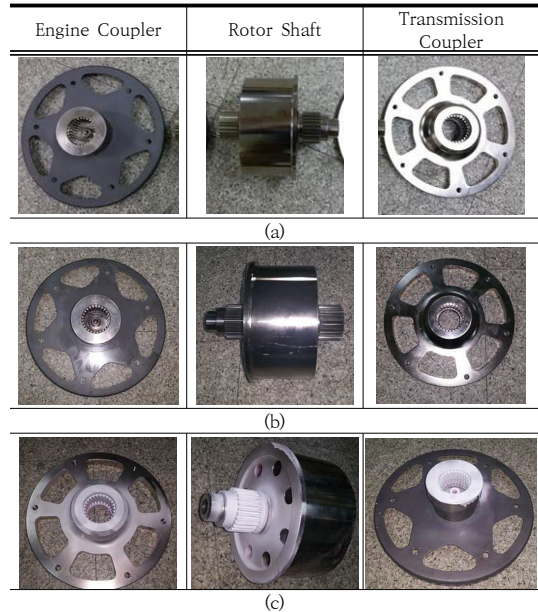


Fig. 6. Torsional Endurance Test  
(a)Before Test Shaft systems, (b)After Test Shaft systems, (c)NDT(PT) result

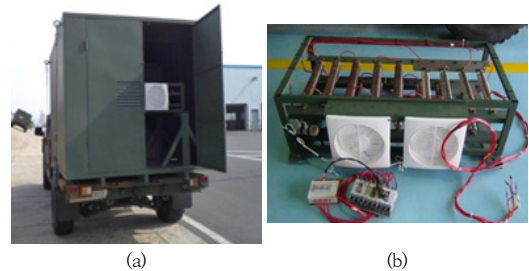


Fig. 7. (a)Load Test Equipment on Vehicle, (b)10Kw Load Test Equipment

그 결과 Fig. 8 과 같이 그리스 밀봉 구조를 적용한 개선안에서 내부 산화철이 발생하지 않는 것을 확인하였다. 또한 Table 4.과 같이 발전기 작동 간 실내 소음이 현사

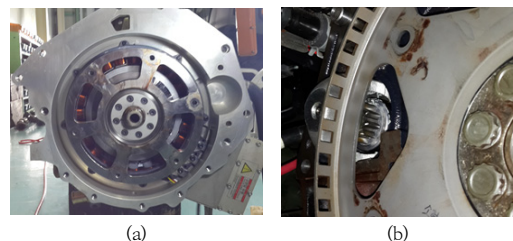


Fig. 8. (a)Engine Coupler, (b)Engine Starter

양 대비 개선안의 소음이 엔진 아이들(750rpm) 상태에서 약 2dB(A)가 감소하였고 발전기 작동시(1200rpm)에도 약 0.5dB(A)가 감소함을 확인할 수 있었다. 개선 전후를 종합 비교하여 Table 5.에 나타내었다.

Table 4. Noise Reduction

	Initial Installation	Before	After
Idleing (750rpm)	57.0	61.5	59.5 (2dB(A) ↓)
Generation (1200rpm)	64.1	64.7	64.2 (0.5dB(A) ↓)

Table 5. Comparison Before and Afer Improvement

	Before Improvement	After Improvement
Coupler	Occurred	Not Occurred
Noise (Idleing State)	61.5dB(A)	59.5dB(A)
Rust Fixation on Starter	Occurred	Not Occurred
Lifespan	50 Hr ↓	500 Hr ↑

#### 4. 결론

본 연구는 군용 차량에 최초로 적용된 엔진일체형 직렬 하이브리드 발전기와 엔진의 연결방식에서 그리스 비산을 방지하기 위하여 각각적인 검토를 통해 재질, 표면 처리 및 개선안을 제시하였다. 이를 통해 내부의 산화철 발생을 방지, 시동성능 및 소음을 개선하였다.

- 스플라인의 재질 및 보호피막을 SCM420H에서 피로강도가 30%이상 높은 침탄용 초고강도강인 SCM820PRH로 변경하였고 보호피막처리를 인산염 피막에서 무전해 니켈도금으로 변경하여 표면 경도를 Hv650에서 Hv700이상으로 변경하였다.
- 쿼드링과 백업링을 적용한 그리스 밀봉 구조로 변경하여 그리스 비산을 방지하고 산화철의 발생을 방지하였다. 이를 검증하기 위해 축계에 대한 비틀림 내구시험을 실시하여 구조의 건전성을 확인하였다. 또한 실차 부하시험을 실시하여 500시간 목표 내구수명을 만족하고 엔진 아이들 상태의 소음을 2dB(A) 저감시켜 감성품질을 향상하였다.

해당 논문은 엔진-발전기 연결부의 그리스 비산 방지 형상은 방청제의 유지를 통해 시동성능 및 소음을 저감하였다. 향후 소음의 추가적인 저감을 위해서는 엔진의 회전력이 일정하지 않아 발생하는 레틀 소음을 저감하는 방향으로 연구 활동이 수행되어야 할 것이다.

#### References

- [1] S.J. Lee, D.M. Lee, S.E. Park, J.J. Lee, B.H. Cho, Design for Powertrain System of Series-Hybrid Military Vehicle. The Korean Institute of Electrical Engineers, p.1492-1493, 2012.
- [2] K.H. Kang, S.J. Cho, Y.D. Yoon, H.S. Chin, C.H. Lee, S.J. Yu, H.C. Ahn, Development of the engine generating system for a series-type hybrid vehicle, The Korean Society Of Automotive Engineers, p.2848-2853, 2011.
- [3] T.H. Hwang, C.S. Lee, Defense & Technology(407), Korea Defense Industry Associations, p.58-67, 2013.
- [4] I.L. Lee, Y.J. Lee, C.D. Cha, Defense & Technology(420), p.66-79, Korea Defense Industry Associations, 2014.
- [5] J.W. Jung, S.M. Jeon, J.H. Kim, J.S. Yoon, D.J. Kim, J.P. Hong, H Kim, A Study on Reduction of Vibration and Noise of ISG for Hybrid Electric Vehicle, The Korean Institute of Electrical Engineers, p.796-797, 2011.
- [6] N.G. Park, A Study on Noise and Vibration of Gears, Journal of KSNVE, Vol.23, No.1, P.28-35, 2013.
- [7] T.K. Chee, W.K. Yeo, Electroless Nickel Plating, Metal surface Treatment 1. 15, Vol 1, 1982.
- [8] K.H. Lee, H.W. Lee, K.H. Lee, K.J. Park, C.H. Lim, On Generating a Method of Input Shaft torsion Test for an Automatic Transmission, The Korean Society Of Automotive Engineers Symposium, p.34-39, 2006.

강 태 우(Tae-Woo Kang)

[정회원]



- 2011년 2월 : 중앙대학교 기계공학부 (기계공학학사)
- 2011년 2월 ~ 2012년 12월 : LS 산전 기중설계팀 사원
- 2014년 8월 ~ 현재 : 국방기술품질원 기동화력센터 연구원

<관심분야>  
기계가공, 금속재료

---

김 성 곤(Seong-Gon Kim)

[정회원]



- 2003년 2월 : 한양대학교 기계공학  
학과 (기계공학석사)
- 2003년 2월 ~ 2012년 7월 : 삼성  
전자 컴퓨터시스템사업부 책임연  
구원
- 2012년 7월 ~ 현재 : 국방기술품  
질원 기동화력센터 선임연구원

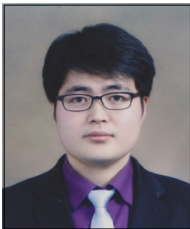
〈관심분야〉

유동해석, 기계가공

---

신 철 호(Cheol-Ho Shin)

[정회원]



- 2012년 2월 : 고려대학교 기계공  
학과 (기계공학학사)
- 2014년 8월 : 한국과학기술원 기  
계공학과 (기계공학석사)
- 2014년 8월 ~ 현재 : 국방기술품  
질원 기동화력센터 연구원

〈관심분야〉

정밀기계, 유동해석

---

이 계 섭(Kye-Sub Lee)

[정회원]



- 1995년 2월 : 건국대학교 기계설  
계학과 (기계설계공학학사)
- 1997년 2월 : 건국대학교 기계설  
계학과 (기계설계공학석사)
- 2019년 7월 ~ 현재 : 기아자동차  
특수설계팀 책임연구원

〈관심분야〉

자동차공학, 기계설계