

## 부하증가로 인한 궤도형 장갑차의 엔진꺼짐현상 개선

문태상<sup>\*,1)</sup> · 김경로<sup>1)</sup> · 이유기<sup>1)</sup> · 강태우<sup>1)</sup> · 김재규<sup>2)</sup> · 김성일<sup>3)</sup> · 박봉식<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup> 국방기술품질원 창원센터 창원2팀

<sup>2)</sup> 두산DST(주) 제품기술 1팀

<sup>3)</sup> S&T중공업 특사기술팀

## Improvement of Engine Stall by Load Increment on Tracked Armored Vehicles

Tae-Sang Moon<sup>\*,1)</sup> · Kyungro Kim<sup>1)</sup> · Yuki Lee<sup>1)</sup> · Taewoo Kang<sup>1)</sup> · Jaekyu Kim<sup>2)</sup> · Seongil Kim<sup>3)</sup> · Bongsik-Park<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup> The 2nd Changwon Team, Defence Agency for Technology and Quality, Korea

<sup>2)</sup> The 1st Product & Technology Team, Doosan DST, Korea

<sup>3)</sup> The Military Engineering Team, S&T Dynamics Co., Ltd., Korea

(Received 14 April 2015 / Revised 3 September 2015 / Accepted 25 September 2015)

### ABSTRACT

Currently, there are many kinds of tracked armored vehicles in service and they have encountered various environment and situations. So there are many obstacles to operate them improperly such as an engine stall. The causes of engine stall are an insufficient fueling, a mixture of air-fuel or vapor lock, and load increment which results from a rapid steering or increasing a viscosity of lubricant by low temperature.

In this paper, engine stall by load increment due to a rapid steering or increasing of lubricant viscosity on tracked armored vehicles is analyzed, the ways to prevent it are applied, and their degrees of improvement are evaluated.

Key Words : Engine stall(엔진꺼짐), Load increment(부하증가), Tracked Armored Vehicles(궤도형 장갑차), Engine Idle RPM(엔진 공회전 속도), Cut in RPM(변속기 출력축 회전시점 엔진속도)

### 1. 서론

현재 군에서 운용되고 있는 궤도형 장갑차는 다양한

상황과 환경에서 운용될 수 있어야 하고 이에 따라 장갑차의 작동에 있어 많은 방해요소를 접하게 된다.

이러한 방해요소 중 중대한 사항으로 시동 후 또는 주행 중 엔진꺼짐현상이 있다. 엔진꺼짐현상이 지속될 경우 필요한 시점에 차량의 이동이 불가함에 따라 불편함과 적에 노출되는 위험성이 있으며 잦은 엔진 시

\* Corresponding author, E-mail: mts4413@dtqa.re.kr  
Copyright © The Korea Institute of Military Science and Technology

동으로 인해 부품의 마모를 가속시키는 결과를 초래하기도 한다. 엔진꺼짐현상을 유발하는 요인으로는 엔진의 연료공급 불량, 공기유입 및 기포형성, ECU 불량, 그리고 엔진부하 증가 등이 있다<sup>1-3)</sup>. 특히 엔진의 구동력보다 엔진 외부 구동저항 및 궤도 마찰력 등으로 엔진의 부하가 증가될 경우 지속적인 엔진의 행정 과정을 방해하고 일정크기 이상으로 작용할 경우 엔진이 꺼지는 현상으로 이어진다. 또한, 엔진의 부하증가 원인으로 조향시의 저항증가 및 저온으로 인한 윤활유의 점도증가 등이 있으며, 디젤엔진의 경우 저온시동 시스템 최적화를 위한 시동과정의 동적모델링 및 시뮬레이션 등도 연구되고 있다<sup>4,5)</sup>. 이러한 엔진꺼짐현상은 궤도형 장갑차뿐만 아니라 일반 상용차량에도 일어나는 현상이고 이를 방지하기 위해 다양한 방법이 적용되어 있다.

본 연구에서는 궤도형 장갑차에서 엔진의 부하증가로 인해 발생하는 엔진꺼짐현상에 대해 분석하고 이를 방지할 수 있는 방안을 모색하여 부하증가로 인한 엔진꺼짐현상을 방지하기 위한 시험을 수행하였으며 그 결과에 대한 평가를 실시하였다.

## 2. 궤도형 장갑차의 파워팩의 구조와 성능

궤도형 장갑차에 사용되는 파워팩은 디젤 엔진과 정유압 변속기로 구성된 하나의 조립체로, 궤도형 장갑차 파워팩의 구조와 성능은 Fig. 1과 Table 1에 나타나 있다<sup>6,7)</sup>.

궤도형 장갑차에 사용되는 분리클러치 방식 정유압 변속기는 Fig. 2와 같이 구조가 간단하고 동력이 입력되는 상태로도 정지하고 있는 동적 제동력을 제공하며 조향장치의 입력동력을 엔진과 직결하여 조향 응답성이 우수하다는 장점이 있다. 그러나 레이디얼 볼 피스톤 타입의 정유압 장치 작동 중 발생하는 누설로 인해 효율이 좋지 않고, 과도한 역부하시 토크컨버터 타입 변속기는 토크컨버터에서 유체슬립이 발생하여 엔진꺼짐이 발생하지 않지만, 클러치타입은 클러치가 분리되지 않는 이상 부하가 엔진으로 전달되기 때문에 엔진꺼짐이 발생할 수 있다는 단점이 있다. 이러한 특성을 고려하여 엔진꺼짐현상의 원인을 분석하고 원인에 대한 해결 방안을 제시하였다.

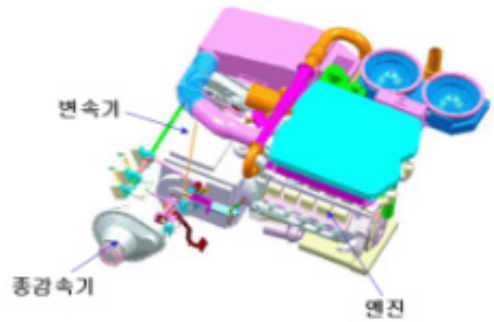


Fig. 1. Structure of powerpack for the tracked armored vehicles

Table 1. Specification of powerpack for the tracked armored vehicles

제 원		값
엔진 정격 RPM		2,300 rpm
엔진 Idle RPM		650 rpm
엔진 Cut-in RPM		800 rpm
엔진 Cut-off RPM		400 rpm
변속기 클러치 분리 시간 (@300rpm)	1단	1 초
	2, 3단	0.12 초
변속기 사용 오일		SAE 15W40

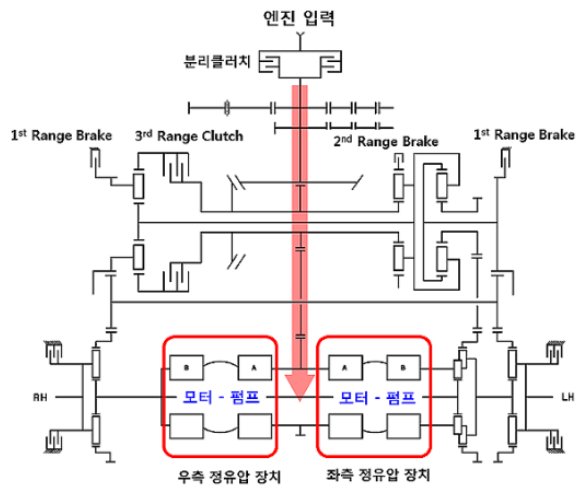


Fig. 2. Structure of hydro-mechanical transmission

### 3. 저속 급 조향 시 엔진꺼짐현상의 개선

#### 3.1 저속 급 조향 시 엔진꺼짐현상의 원인 분석

엔진과 변속기가 분리클러치에 의해 기계적으로 연결되어 장갑차의 조향에 필요한 동력을 공급하는 케도형 장갑차 변속기의 입력구동방식은 저속에서 가속페달을 충분히 밟지 않고 크게 조향을 하는 경우 엔진에 역방향 부하가 인가되어 엔진이 정지되는 현상이 발생하게 된다.

이는 출력을 충분히 늘려 저속 급 조향 시에서의 역방향 부하를 수용할 수 있게 하거나 분리클러치의 분리속도를 빠르게 하여 내부적으로 부하를 차단하는 방법을 통해 엔진꺼짐현상을 개선할 수 있다.

#### 3.2 엔진 Idle RPM 변경

엔진의 Idle RPM에 따른 입력토크는 Table 2에 나타내었다. 입력토크는 엔진과 변속기가 결합된 상태에서 엔진이 작동될 때 변속기 입력축에서 측정된 토크값을 의미한다. Table 2에 명시된 바와 같이 Idle RPM의 크기가 커질수록 토크값이 커지는 경향을 알 수 있다. 이를 바탕으로 엔진 Idle RPM을 크게하여 저속 조향 시의 엔진꺼짐현상을 개선할 수 있음을 기대할 수 있다. 그러나 엔진의 Cut-in RPM을 초과하는 Idle RPM을 설정할 경우 가속페달을 밟지 않더라도 장갑차가 전진할 수 있으므로 이를 고려해야 한다. 적정 Idle RPM을 선정하기 위해 기동 중 가속페달을 밟지 않은 상태로 급 조향하는 최악조건으로 시험한 결과를 Table 3에 나타내었다. 시험결과 800 rpm 이상의 Idle RPM에서 좋은 결과를 얻을 수 있었으나 Idle RPM의 편차인  $\pm 50$  rpm을 고려하여 750 rpm을 적정 Idle RPM으로 선정하였다.

Table 2. Engine input torque each engine idle RPM

엔진 Idle RPM	입력토크 (kg·m)
650 rpm	85.4
750 rpm	108.6
800 rpm	112.0
850 rpm	130.4

Table 3. Result of engine stall test each engine idle RPM

	엔진 Idle RPM			
	650 rpm	750 rpm	800 rpm	850 rpm
시험횟수	9 회			
엔진꺼짐	6 회	4 회	3 회	3 회
발생률	66 %	44 %	33 %	33 %

#### 3.3 변속기 분리클러치 작동 회전수 및 시간 변경

엔진꺼짐의 회피방법으로 동력을 전달하는 변속기 분리클러치의 분리조건을 변경하여 엔진꺼짐을 방지하였다. 역방향 부하가 크게 인가될 경우 엔진의 RPM이 순간적으로 감소하기 때문에 엔진에 역방향 부하를 인가하지 않고 대처할 수 있는 방법으로 현재의 설정보다 더 이른 시점에 빠른 속도로 클러치를 분리하는 것이 중요하다. 시험결과 엔진의 Cut-off RPM은 400 rpm으로 외부 부하에 의해 400 rpm 이하로 떨어질 경우 엔진이 꺼지게 되는 것으로 확인되었다. 또한 엔진이 정지할 때까지 걸리는 시간은 690 rpm에서 0.28초, 338 rpm에서 0.16초가 소요되었다. 따라서 이러한 사항을 고려하여 엔진속도 450 rpm에서 0.12초 이내로 분리클러치의 작동이 이루어지도록 선정하여 엔진이 꺼지기 전에 빠르게 분리되도록 설정하였다. 기존의 분리클러치 작동 설정과 개선 방안은 Table 4에 명시하였다.

Table 4. Modification of disconnect clutch operation

변속단	현 설계	개선 방안
1단	1 초 (@300rpm)	0.12 초 (@450rpm)
2, 3 단	0.12 초 (@300rpm)	

#### 3.4 개선 확인시험

선정한 개선 방안인 엔진 Idle RPM 증가 및 분리클러치 분리조건을 변경하여 개선 확인시험을 실시하였다. 먼저 엔진 Idle RPM별 조향각에 따른 엔진꺼짐 개선행을 확인하였다. 기존 엔진 Idle RPM 650, 750, 800, 인가된 가속페달(D단) RPM 1000, 1200, 1500 등 3가지 mode 및 조향각 60 %, 100%(최대조향)으로 각 9회씩 시험하였다. 이때의 분리클러치 작동 사항은 3.3

절에서 개선한 사항을 적용하였다. 시험결과는 Fig. 3과 같으며, 엔진 Idle RPM을 기존의 값보다 크게 할 경우 엔진꺼짐현상이 감소하였다. 이는 엔진 Idle RPM 속도가 높을수록 엔진꺼짐까지의 도달시간이 상대적으로 길어 엔진꺼짐현상에 대한 지연효과가 있는 것으로 판단된다.

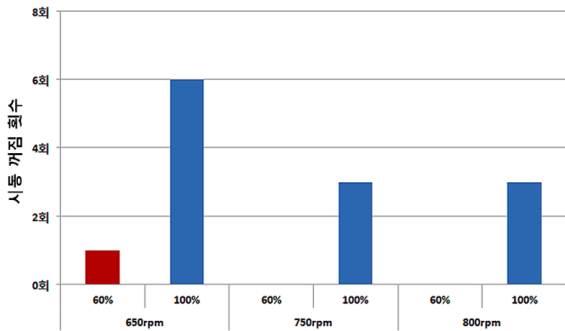


Fig. 3. Engine stall rate each RPM by steering degree

다음으로 엔진 Idle RPM별 변속기 단수에 따른 엔진꺼짐 및 클러치 분리작동 비율을 확인하였다. 분리클러치의 작동조건은 마찬가지로 3.3절에서 개선한 조건을 적용하고 조향각 100 %로 설정하였다. 기존 엔진 Idle RPM은 750, 800, 850, 변속기 단수는 D단 급 조향, D단 제동 및 급 조향, L단(1단 고정) 급 조향으로 각 9회씩 시험하였다. 시험결과 Fig. 4에서와 같이 엔진 Idle RPM이 커질수록 엔진꺼짐현상에 대해 개선된 것을 확인할 수 있다. 하지만, Idle RPM을 800 rpm 이상으로 설정 시는 Cut in RPM 초과로 차량이 전진할 수 있기 때문에 Idle RPM을 750 rpm으로 설정하는 것이 타당한 것으로 판단된다.

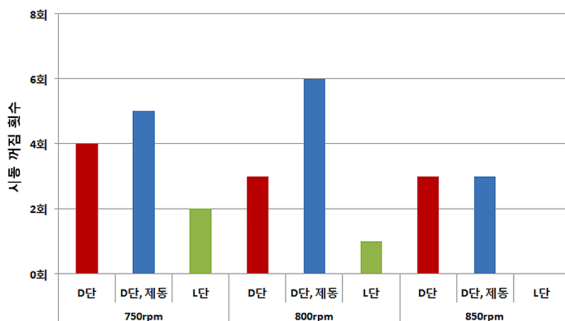
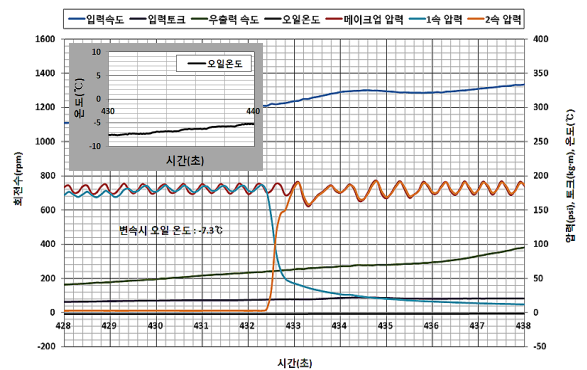


Fig. 4. Engine stall rate each RPM by transmission range

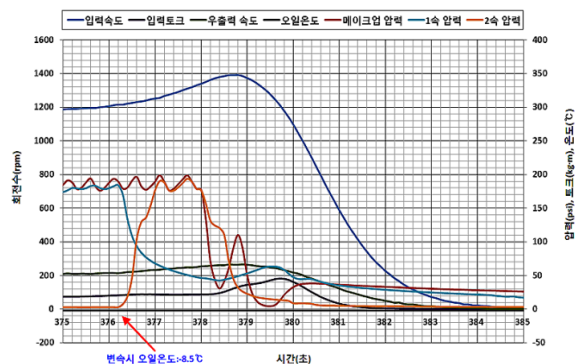
#### 4. 동계 운용 시 엔진꺼짐 현상의 개선

##### 4.1 동계 운용 시 엔진꺼짐 현상의 원인 분석

저온에서의 윤활유 점도 증가는 케도형 장갑차의 동계 운용 시 문제가 되는 항목 중 하나이다. 일반적으로 시동이 가능한 윤활유의 점도는 2,800 ~ 5000 cP이며 군용 차량에 적용되는 윤활유는 -32 °C에서의 시동이 원활히 이루어지기 위해 SAE 5W40 이상의 윤활유를 사용한다<sup>4)</sup>. 그러나 공급의 원활성과 비용적인 측면에 있어 가장 가용온도 범위가 넓은 SAE 15W40을 사용하고 있는데 일정수준 이하의 온도에서 운용하게 될 시 윤활유의 점도 증가로 인해 엔진가동이 힘들어지고 꺼지는 현상까지 이어진다. 엔진 작동시의 변속기 특성을 나타내는 곡선을 Fig. 5에 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 정상 작동시(a)에는 1속 압력에서 2속 압력으로 메이크업 압력이 부드럽게 이어지나, 엔진꺼짐이 발생할 경우(b) 2속 압력으로 전환 시 급격하게



(a) In normal operation



(b) When engine stalling

Fig. 5. Transmission characteristic curves

Table 5. Operating time of clutches by temperature

온도	작동시간		점도
	변속클러치	분리클러치	
상온(15℃)	0.3 초	0.12 초	4,800 cSt
저온(-15℃)	3.8 초	6.5 초	600 cSt

압력이 떨어지고 이에 따라 입력 속도와 토크가 크게 변하여 정지하게 되는 경향을 확인할 수 있다. 이러한 경향성의 원인을 변속기 내의 변속클러치와 분리클러치의 작동시간을 분석하여 확인할 수 있으며 Table 5와 같이 온도가 낮아짐에 따라 두 작동시간 모두 매우 길게 변한 것을 확인할 수 있다. 즉, 저온으로 인한 윤활유 점도 증가로 변속이 제대로 이루어지지 않았으며 역부하 방지를 위한 분리 동작 역시 원활하게 이루어지지 않음을 확인할 수 있다. 실제 운용에서 윤활유 변경없이 이러한 현상을 개선하기 위해서는 변속기 오일의 적절한 가열방안을 모색할 필요가 있다.

4.2 변속기 오일 가온 방안 검토

변속기 오일의 온도를 올리는 방법으로 냉각수 및 외부의 열원을 이용하는 방법과 오일의 순환을 통해 발생하는 마찰열로 변속기 오일의 온도를 올리는 3가지 방안이 있다. 먼저 냉각수를 이용한 오일 가열방법은 냉각수 순환을 통해 변속기 오일에 열을 간접적으로 전달하는 방법으로 냉각수 온도가 오일의 온도보다 충분히 높아야 효과적으로 이루어 질 수 있다. 그러나 냉각수와 변속기 오일 간의 온도차이가 크지 않고 저온 시에 오일 순환이 원활하지 않아 열전달이 효과적으로 이루어지지 않는다. 열선을 이용할 경우 열선의 온도조절이 가능하고 다양한 형태로 선을 구성할 수 있으나 열선의 표면적이 적어 열선 부근의 오일만 국부적으로 가열되고 직접가열되는 방식이므로 오일의 산화가 일어날 수 있다. 또한 열선 적용 시 전원계통 및 차체 구조의 변경이 필요하게 되므로 소요비용이 크게 발생할 수 있다. 따라서 현실적인 오일의 가열방안으로 변속기 오일을 순환시킬 때 발생하는 마찰열을 이용하는 가열방식이 적절하다.

변속기 오일을 순환시켜 오일의 온도를 높일 경우 어느 정도 온도에서 엔진 작동이 안정화되는지, 시간당 온도 상승 비율을 얼마이고 최적의 방법은 어떤 것인지가 요구된다. 반복적인 시험결과 약 -5℃에서부

터 엔진 작동에 있어 안정적임을 확인 할 수 있었다. 또한 시험을 통해 변속단 별 변속기 오일 온도 변화를 확인하였다. 각 변속단에 따른 오일의 온도변화는 Table 6과 Fig. 6에 나타내었다. 이를 통해 중립 상태를 제외한 구동 변속단의 경우 분당 약 1℃의 오일 온도 상승을 기대할 수 있었으며, 이에 따라 -15℃의 동계 저온에서 약 10분 간 구동 시 엔진꺼짐현상 없이 장갑차를 구동할 수 있다. 이때 PV단은 조향 핸들 조작 시 제자리 회전으로 인한 안정상의 문제 등을 고려하여 L단(저속)을 이용하는 것이 바람직한 것으로 판단되어 현 설계상태인 N단(중립상태) 공회전 위밍업 수행을 L단 1000 rpm으로 변경하였다.

Table 6. Rates of temperature rise each range

운용조건	분당 온도상승	20℃ 상승 시간
N단 공회전	0.46℃/분	43.5분
PV단 공회전	0.99℃/분	20.2분
L단 공회전	0.97℃/분	20.6분
PV단 1000 rpm	1.28℃/분	15.6분
L단 1000 rpm	1.33℃/분	15.0분

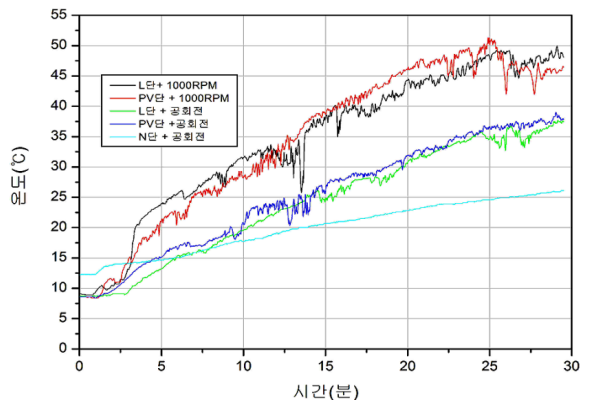


Fig. 6. Transmission oil temperature curves each range

5. 결론

본 연구는 궤도차량이 저속에서의 급 조향 시 엔진 꺼짐과 저온에서의 엔진꺼짐현상을 분석하고 방지하기 위한 방안을 모색하였으며, 이를 통한 개선점을 확인

할 수 있었다. 저속 급 조향의 경우 엔진의 Idle RPM 을 높여 발생하는 토크를 크게 함으로써 외부에서 발생하는 역부하를 충분히 수용할 수 있게 하였고, 변속기 분리클러치의 작동 설정을 바꿈으로써 큰 역부하 발생 시 이른 시점에 빠른 응답성으로 위험회피를 하는 방법을 적용하였다. 이를 통해 기존의 급 조향 시 발생하는 엔진꺼짐을 방지할 수 있었고 역부하 인가 시에도 적절히 클러치를 분리함으로써 빠르게 후속조치가 가능하도록 하였다. 저온상태에서 운용 시 윤활유의 점도 증가로 인한 클러치 작동 지연을 방지하기 위해 주행 전에 일정시간 동안 오일을 순환시켜 변속기를 가열함으로써 안정적인 엔진 구동을 구현할 수 있게 하였다.

향 후 본 연구와 더불어 저온에 의한 연료 압축온도의 영향을 분석하고 최적의 엔진 Idle RPM을 구하는 과정이 필요할 것이다.

## References

- [1] V. A. Hillier and P. Coombes, "Hillier's Fundamentals of Motor Vehicle Technology," Nelson Thornes. Ltd. United Kingdom, p. 255, 2004.
- [2] C. D. Rakopoulos and E. G. Giakoumis, "Diesel Engine Transient Operation : Principles of Operation and Simulation," Springer, p. 11, 2009.
- [3] S. Srinivasan, "Automotive Engines," Tata McGraw-Hill, p. 91, 2001.
- [4] Taewon Kim, Youngmo Shin and Woonghwa Jung, "Study on Characteristics of Low Temperature Diesel Combustion-Focused on the Strategic Arms," Defense and Technology, No. 405, pp. 102-105, 2012.
- [5] Jungkyu Park, Keunsik Bae and Cheon Yoo, "Dynamic Modelling and Simulation of Engine Starting Process for Optimization of Diesel Engine Cold Starting System," Transaction of the Korean Society of Automotive Engineers, Vol. 8, No. 1, pp. 32-39, 2000.
- [6] KDS 2815-4005, "ENGINE, DIESEL, D2840LXE," Korea Defence Standard, 2007.
- [7] KDS 2520-4002, "TRANSMISSION, HYDRAULIC, HMPT500-4EK," Korea Defence Standard, 2007.