

주행노면에 따른 동력장치의 상대 피로 손상도 평가 기법에 관한 연구

이상호[#], 이정환^{*}, 강도경^{*}, 구상화^{*}

A Study on the Evaluation Technique of Quantified Damage for Powertrain System on Traveled Courses

Sang Ho Lee[#], Jeong Hwan Lee^{*}, Do Kyung Kang^{*} and Sang Hwa Goo^{*}

ABSTRACT

This paper focuses on improvement of the reliability for endurance test to serve military automobiles. The driving loads have been measured by use of the wireless telemetry system for the drive shaft of the 4-wheel drive car. In order to analyze the transmission input torque and engine revolution of loads of the test courses and unpaved road have been made use of the revolution counting and cumulative damage by miner's rule. This paper presents the evaluated result for quantified damage about the test courses and roads.

Key Words : Endurance Test (내구도시험), TM Input Torque (변속기 입력 토크), T-N (토크-수명), Revolution Counting (회전수 집계), Driving Duty (주행부하), Quantified Damage (상대피로)

1. 서론

전투용 기동장비의 기동성은 실제 전투와 같은 비상 상황 하의 가혹한 환경에서 지속적으로 운용됨을 고려하여 보다 증대된 장비의 신뢰성을 요구한다. 이와 같이 강인하고 신뢰성 있는 기동성을 확보하기 위해서는 기동장비의 주요 장치인 현수장치와 동력장치의 성능 및 내구성 향상이 필수적이라고 할 수 있다.

일반적으로, 기동장비의 내구수명에 영향을 미치는 주요 인자로는 노면 굴곡(Road Profile) 등에 의한 진동환경과 경사 및 경사 발생 빈번도, 경사

지속도, 조향에 의한 부하 특성 등을 들 수 있다.

차량의 현수 및 플랫폼과 같은 구조물에 영향을 미치는 진동환경은 자체 개발한 노면굴곡측정장비(Profilometer)를 이용하여 기동시험장의 내구시험로는 물론이고, 군 기동장비를 실제 운용하는 전방의 주요 기동로에 대한 굴곡 특성을 측정하여 가혹도(Severity)를 비교 분석한 바 있다.¹ 또한, 분석된 가혹도의 상호 비교를 통하여 기동시험장의 내구시험로에 대한 가혹도 표준화(Standardization)를 이루었으며, 현재 표준화된 가혹도 기준에서 내구도시험을 수행하고 있다.²

그러나 동력장치 측면에서의 주행 노면별 부하

[☞] 접수일: 2007년 6월 27일; 게재승인일: 2007년 10월 19일

[#] 교신저자: 국방과학연구소 5기술연구본부 5부

E-mail: ppowertrain@paran.com Tel. (055) 250-3233

^{*} 국방과학연구소 5기술연구본부 5부

특성 분석에 대한 연구는 미미한 실정이다.

본 연구의 목적은 내구시험로에 대한 동력장치 부하 수준과 특성이 군 운용지역(Army Operation Area) 기동로의 부하 수준과 특성을 충분히 포함하는가를 규명함으로써, 동력장치 측면에서의 내구시험에 대한 신뢰성을 향상시키기 위한 것이다. 이를 위해 토크와 회전수에 의한 사이클 집계(Cycle Counting) 기법과 Miner's Rule에 의한 누적 피로 손상도(Cumulative Damage) 이론 및 부하(Duty) 이론 등을 통해 주행부하(Driving Duty)를 정량화하는 기술 개발과 대상 기동로의 상대 피로도(Quantified Damage)를 평가하였다.

2. 부하 측정 시스템

2.1 측정 기준

노면에 의한 차량의 부하는 차량의 제원과 구동 형식, 엔진 및 변속기 특성 등에 따라 달라지는 것이 일반적이다. 따라서 동일 차량을 기준으로 여러 노면의 주행부하와 특성 등의 상대 비교와 같은 관점에서 접근하는 경우에는 이를 노면에 대한 상대 부하라고 할 수 있다.

그러나 차량의 동력장치 계통의 부품들은 운전자의 습관이나 환경 조건 등에 민감하게 영향을 받는다. 따라서 노면에 대한 상대 부하를 측정하는 경우에는 타이어 공기압이나 중량과 같은 차량 상태는 물론이고, 운전자 및 날씨와 같은 환경 조건 등도 동일하도록 고려하여야 한다.

또한 차량 속도에 따라 동력장치 계통의 부하 특성도 상이하여 측정 속도에 대한 기준도 필수적으로 요구된다.³ 민수 자동차 회사의 경우에는 해당 노면을 주행할 시 일반 운전자의 90%가 주행하는 차량 속도를 조사하여, 이를 측정 속도로 고려하고 있다고 한다.

본 논문에서는 과거 기동시험장에서 수행된 시험차량의 평균 속도를 내구시험로의 기준 주행 속도로 설정하였으며, 전방 군 운용지역 기동로의 경우에는 실제 관련 부대에서의 평균 운용 속도를 기준으로 정하였다.

2.2 시스템 구성

본 연구는 특정 기동장비의 엔진 및 변속기에 대한 주행부하 주기(Duty Cycle)를 획득하기 위한 것이 아니라, 기동로 관점에서 노면에 의해 차량에

걸리는 상대적인 피로 손상도를 측정하기 위한 것이다. Fig. 1은 자동변속기가 탑재된 4륜 구동의 무쏘(Musso) 차륜차량에 계측시스템이 구성된 상태를 보여주고 있으며, 좌우측의 구동축 토크와 엔진회전수, 차량속도 등을 측정하였다. 또한 데이터 획득 시스템은 HBM사의 MGCplus를 사용하였으며, 샘플링율은 20Hz를 적용하였다. 획득된 데이터에 대한 오프셋(Offset) 처리 및 스파이크(Spike) 제거와 같은 전처리 과정을 포함한 데이터처리는 MATLAB을 이용하였다.

본 연구에서는 가혹한 비포장로가 대상인 점을 고려하여 차량 속도를 측정하기 위해 GPS를 이용한 영국 RACELOGIC사의 VBOXII 센서를 이용하였다. VBOXII 센서는 GPS 신호를 수신하기 위한 안테나와 본체로 구성되어 있으며, 설정된 해상도는 20km/h/V이다.

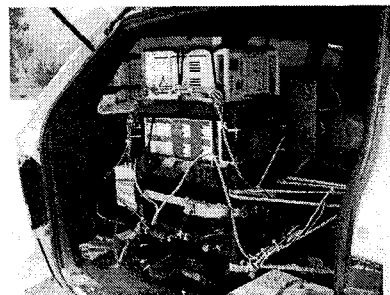


Fig. 1 Configuration of Instrumentation System



Fig. 2 Torque Sensor and Telemetry

각 노면에 대한 동력장치 계통에 미치는 부하를 측정하기 위해서는 변속기 입력 토크나 엔진 출력 토크를 직접 측정하는 것이 가장 효과적이거나, 높은 온도와 부족한 측정 공간 등 측정 환경이 용이하지 않는 것이 일반적이다. 따라서 부하 분석을 위해

본 연구에서는 구동축의 출력 토크를 측정하여 차량의 기어비를 이용하여 변속기 입력 토크를 계산하는 방식을 적용하였다.

회전체의 토크를 측정하는 방법으로는 슬립링(Slip Ring)을 이용하거나 무선으로 센서 신호와 전원을 공급하는 근거리 텔레메트리(Telemetry) 등을 이용하는 것이 일반적이다. 본 연구에서는 구동축의 출력 토크 측정을 위해 Torque Trak 9000의 근거리 텔레메트리를 사용하였으며, Fig. 2와 같이 구동축의 토크 센서로는 350Ω의 풀-브릿지(Full Bridge)로 구성된 스트레인지지를 부착하였다. 설치된 토크 센서의 분해능은 316.25Nm/V이다. 엔진 회전수는 차량 운행 중 엔진에 걸리는 부하 정도를 나타내는 것으로, 차량 자체에서 출력되는 엔진회전수에 대한 펄스(Pulse) 신호를 이용하였으며, 분해능은 15.75pulse/rev.이다.

3. 측정 및 분석

3.1 변속기 입력 토크 계산

동력장치 계통에 발생하는 토크는 Fig. 3과 같은 과정을 거치는데, 엔진에서 발생된 힘은 토크 컨버터, 변속기를 거쳐 종감속기(Final Drive)를 통해 차량의 각 휠로 전달된다. Table 1은 본 연구를 위해 사용된 측정 차량의 기어비에 대한 내용을 나타내고 있다.

변속기 입력 토크는 토크 컨버터 이후의 토크이기 때문에 구동축 출력 토크와 변속비의 선형성이

Table 1 Gear Ratio for Measurement Vehicle

Measurement factors	Ratio	
Final Drive(FD_{ratio})	4.89	
Transmission	1-step	2.742
	2-step	1.508
	3-step	1.000
	4-step	0.709
	rear-step	2.429

있어, 이를 이용하여 계산이 가능하다. 실제 유럽표준하중 공동연구협의회의인 CARLOS에서는 자동변속기의 경우에는 변속기 입력 토크를, 수동변속기의 경우에는 엔진 토크를 기본적으로 사용하는 것으로 나타내고 있다.³

그리고 변속기 입력 축의 회전속도에 있어서도 토크 컨버터를 거치면서, 록업(Lock-up) 모드일 때는 직결 상태이므로 엔진 회전수와 동일하지만, 록업 모드가 아닌 경우에는 토크 컨버터의 효율 때문에 다소 차이가 날 수 있다. 일반적으로 이 효율은 98% 정도로 알려져 있으며, 본 연구에서는 상대 부하 측면에서 동일한 기준을 적용한다는 의미에서 토크 컨버터의 효율을 무시한 엔진 회전수를 사용하였다.

식 (1)과 식 (2)는 계측된 차량속도와 구동축 출력 토크를 이용하여 추진축(Propeller Shaft)의 회전수와 토크를 계산하는 것을 각각 나타낸다.

$$P_{shaft_{rpm}} = \frac{v}{3.6} \times \frac{60}{\pi \times D} \times FD_{ratio} \quad (1)$$

$$P_{shaft_{tq}} [Nm] = \frac{lw_{tq} + rw_{tq}}{FD_{ratio}} \quad (2)$$

여기서, $P_{shaft_{rpm}}$ 과 $P_{shaft_{tq}}$ 는 추진축의 회전수와 토크를 나타내며, v 는 차량속도를 나타낸다. 그리고 D 는 타이어 직경으로 0.72m이며, FD_{ratio} 는 종감속기의 기어비를 나타낸다. lw_{tq} 와 rw_{tq} 는 각각 좌우 구동축의 출력 토크를 의미한다.

그리고 식 (3)은 추진축 회전수와 엔진회전수의 비에 의한 것으로 Table 1의 변속기 기어비와 동일한 비율을 나타내는 것을 확인할 수 있었다. 또한 식 (4)는 추진축 토크에 대한 그 때의 기어비를 나타내는 것으로 변속기 입력 토크를 얻을 수 있다.

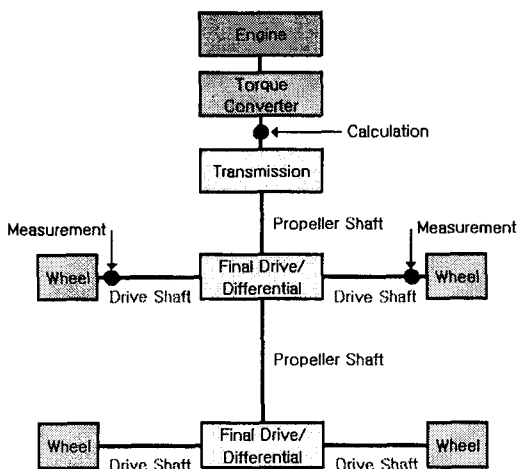


Fig. 3 Configuration of Torque Transmission

$$X_{mission_step} = \frac{P_{shaft_rpm}}{EG_{rpm}} \quad (3)$$

$$TM\ Input_{tq} = \frac{P_{shaft_tq}}{Gear\ X_{mission_step}} \quad (4)$$

여기서, $X_{mission_step}$ 과 EG_{rpm} 은 각각 변속단수와 엔진회전수를 나타낸다. $TM\ Input_{tq}$ 는 계산에 의한 변속기 입력 토크를 의미한다.

3.2 측정

기동시험장이 보유하고 있는 내구시험로인 3.4km의 직선 포장로(Paved Course)와 지속적인 경사 특성을 지닌 1.8km의 비포장자갈길(Gravel Course), 다양한 굴곡 특성이 반영된 2.9km의 야지로(Crosscountry Course)를 포함하여 군 운용지역의 12개 기동로에 대해 동력장치 부하 특성을 측정하였다.

본 논문에서는 기동시험장 내구시험로와 군운용을 위한 Y지역 및 J지역, D지역 기동로에 대한 결과만을 나타낸다. Fig. 4와 Fig. 5는 3가지의 내구시험로 중에서 비포장자갈길에 대한 측정 결과 및 계산된 수치를 제시한 것으로, Fig. 4는 측정된 차량속도와 엔진회전수를 나타내고 있으며, 차량속도에 의한 추진축 회전수도 포함하고 있다. 또한 Fig. 5는 측정된 구동축 출력 토크와 계산된 변속단수 및 변속기 입력 토크를 나타내고 있다.

그림과 같이 평균 속도와 엔진회전수는 각각 23.4km/h와 1,328rpm를 나타냄을 알 수 있다. 변속

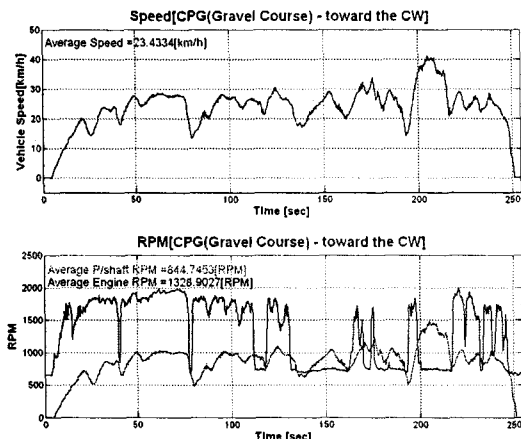


Fig. 4 Speed and RPMs for Gravel Course

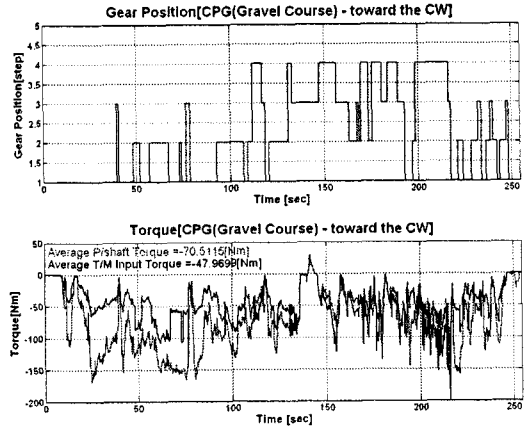


Fig. 5 Transmission step and Torques for Gravel Course

Table 2 Duty Characteristics for the CPG's Course

Factors		Paved	Gravel	Cross-country
Avg. Velocity(km/h)		50.7	23.4	19.1
Transmission Step		3/4	2/3	2/3
Avg. RPM	Engine	1,736	1,329	1,173
	Propeller Shaft	1,826	845	688
Avg. Torq.(Nm)	Propeller Shaft	-112.7	-70.5	-74.7
	Transmission Input	-115.9	-48.0	-43.1

Table 3 Duty Characteristics for the AOA's Road

Factors		Y Region	J Region	D Region
Avg. Velocity(km/h)		17.2	21.2	19.8
Transmission Step		2/3	2/3	2/3
Avg. RPM	Engine	1,054	1,192	1,060
	Propeller Shaft	622	766	715
Avg. Torq.(Nm)	Propeller Shaft	-104.7	-71.6	-68.2
	Transmission Input	-71.2	-44.9	-47.2

평균 변속기 입력 토크가 48Nm를 나타내는 것을 확인할 수 있다.

그리고 직선 포장로와 야지로에 대해서도 동일하게 측정과 계산을 수행하여 Table 2와 같은 특성을 얻었다.

Table 3은 군 운용지역(AOA) 3개 기동로에 대한 결과를 나타낸 것으로, Y지역 및 J지역, D지역의 기동로에 대한 내용으로, 길이는 각각 1.0km와

1.6km, 2.0km이다.

4. 상대 피로 손상도 분석

일반적으로 기계장치들은 장비 운용시 가변 하중(Variable Loading)을 받으며, 이러한 가변 하중은 파괴 하중보다는 적을지라도 기계재료에 지속적으로 피로 손상을 누적시키게 되어 중국에는 파손에 이르게 한다. 따라서 기계장치의 수명에 있어서 가변 하중 하의 피로 수명 평가는 중요한 사항이라고 할 수 있다.⁴

4.1 사이클 집계(Cycle Counting) 기법

이상과 같이 피로 손상량의 산출을 위해서 실제 계측한 복합 하중 이력(history)을 단순한 하중 이력으로 줄이기 위하여 자신의 분석 목적에 맞게 적절한 신호 분류를 선택하여야 한다. 이러한 분류는 방대한 데이터의 양을 효과적으로 감소시킴과 동시에 피로 경향을 특성화할 수 있는 장점이 있다.⁴

효과적인 신호 분류의 방안인 사이클 집계 기법은 ASTM⁵(American Society for Testing and Material) E 1049에서는 Revolution Counting법을 포함하여 Level Crossing Counting법, Simple-Range Counting법, Peak Counting법, Rainflow Counting법 등을 추천하고 있다. 사이클 집계 기법으로 가장 대표적인 Rainflow Counting은 하중의 진폭과 범위만을 포함하지만, Revolution Counting법은 일정 부하와 회전속도에 의한 지속시간을 복합적으로 고려하는 방식이다. 즉, 두 개의 신호가 정의된 유한 등분의 각 레벨에 동시에 나타나는 회수를 집계하는 형태이다.

본 연구내용과 같이, 회전하고 있는 구동계의 토크와 같은 물리량은 구조 및 현가계에서 발생하는 하중과 달리 토크량과 토크 작용 시간에 해당하는 회전수에 따라 부품에 피로 손상을 발생시키는 것으로 알려져 있으며^{3, 6}, 본 연구에서는 Revolution Counting 기법에 의한 사이클 집계가 적절하다고 할 수 있다. 시험로를 포함한 전방 군운용지역 기동로에 대한 Revolution Counting은 nCode사의 GlyphWorks 소프트웨어를 적용하여 수행하였다. 분석을 위한 레벨 간격(Bin Size)은 변속기 입력 토크의 경우에 -300~200Nm의 범위를 25개의 간격 즉, 20Nm의 간격으로 설정하였으며, 엔진 회전수의 경우에는 570~4,200rpm의 범위를 20개의 간격 즉,

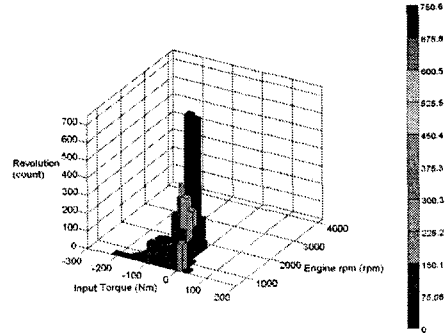


Fig. 6 Revolution Counting for Gravel Course

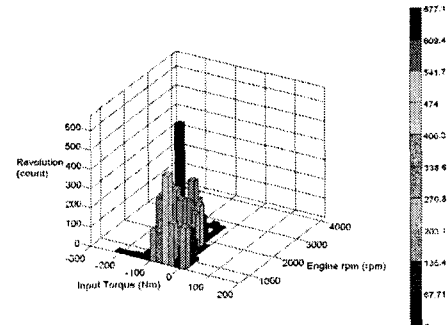


Fig. 7 Revolution Counting for D Region Road of AOA

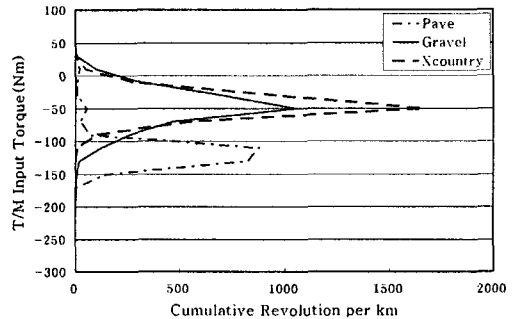


Fig. 8 The Spectrum of CPG Courses

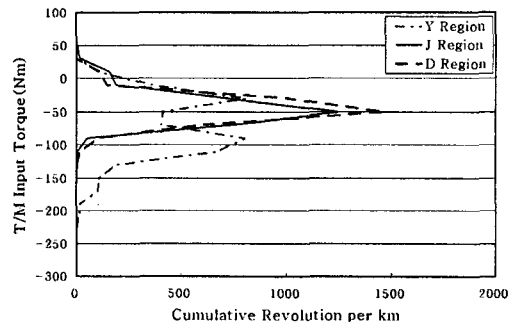


Fig. 9 The Spectrum of AOA Roads

약 180rpm의 간격으로 수행하였다. 이는 변속기 입력 토크 레벨에 따른 회전수(Revolution)를 집계하는 것으로, Fig. 6과 Fig. 7은 비포장자갈길과 D지역의 기동로에 대한 결과이다.

Table 2와 Table 3에서 보듯이 비포장자갈길과 D지역 기동로의 평균 변속기 입력 토크는 각각 48.0Nm와 47.2Nm로서 큰 차이가 없다. 또한 Fig. 6과 Fig. 7의 비교에서 토크 분포 대역에 있어서도 비슷한 특성을 보이니, 비포장자갈길의 Revolution Counting 결과는 D지역 기동로의 결과와 비교하여 상대적으로 높은 레벨의 엔진회전수를 가지는 반면, D지역 기동로는 2,000rpm 이하에서 비중이 높은 것을 볼 수 있다. 이는 유사한 토크 레벨을 갖더라도 이력에 대한 분석 필요성을 확인시키는 것으로, 피로 손상도의 결과도 상이할 수 있음을 추정할 수 있다. 이상과 같이 Revolution Counting은 각 노면에 대한 동력장치 계통의 부하 특성도 파악할 수 있는 중요한 분석 기법이 된다.

Fig. 8과 Fig. 9는 Counting 결과에 대하여 기동로 길이로 정규화한 것이다. Fig. 8은 기동시험장의 3가지 내구시험로에 대한 km당 변속기 입력 토크 별 엔진회전수에 대한 분포를 보인다. 비포장자갈길과 야지로의 평균 변속기 입력 토크는 유사하나, 야지로는 비포장자갈길보다 더 많은 누적 회전수를 가짐을 알 수 있다. 그러나 토크 분포에 있어서는 비포장자갈길이 보다 많은 경사 특성을 포함하고 있어 야지시험로 보다 다소 높은 토크 특성을 가짐을 볼 수 있으며, 포장 직선로는 높은 속도에 의해 두 시험로 보다 훨씬 높은 토크 특성을 나타내고 있음을 확인 할 수 있다.

Fig. 9는 전방 균운용지역의 3개 기동로에 대한 결과로서, Y지역을 제외한 2개 기동로의 평균 변속기 입력 토크는 기동시험장의 비포장자갈길과 비슷하였다. 특히 J지역 및 D지역 기동로의 누적 회전수는 비포장자갈길과 야지로의 중간 정도에 해당하였으며, 토크 분포 범위는 야지로의 결과와 유사하였다. Y지역 기동로는 타 노면의 결과와 상이한 결과를 보이는데, 이는 긴 급경사에 대한 등판과 평평한 노면의 주행에 의해 비정규분포의 특성을 보이는 것으로 분석된다.

4.2 누적 피로 손상도 이론

이상의 싸이클 집계 기법에 의해 분석된 데이터를 이용하여 대상 부품의 누적 손상 피로도를 결정

한다. 이를 위해서는 대상 부품에 대한 응력-수명 선도(S-N Curve) 등과 같은 선도를 이용하여 피로 수명 예측(Fatigue Life Estimation)이 이루어진다.

일반적으로 피로 수명 예측을 위한 방법으로는 응력-수명이외에도 변형률-수명(ϵ -N) 방법, 선형탄성 파괴역학(LEFM) 방법 등이 사용되고 있다. 각 재료에 대한 선도는 많은 실험을 거쳐 확보하며, 선도를 획득하기 위해서는 많은 비용이 소요된다. 또한 획득된 선도도 공개하지 않을 뿐만 아니라 실험 결과에 있어서도 편차가 심해 재료에 대한 피로 한도 등에 대한 정확한 데이터를 알기가 어려운 편이다.

본 연구는 차량의 부품 수명을 예측하기 위한 것이 아니라, 노면 관점에서 차량에 미치는 부하를 평가하기 위한 것이다. 따라서 탄성영역 내에서 상대적으로 긴 수명을 가진 부품에 주로 적용되는 응력-수명 방법을 회전체에 도입하기 위해 Fig. 10과 같이 토크-수명(T-N)으로 수정하여 적용하였다. 즉, 동력장치 계통의 부품은 회전을 하기 때문에 파손 인자가 반복적인 토크 변화이며, 일정 토크 레벨 하에서 회전수가 부품의 수명에 큰 영향을 미친다.

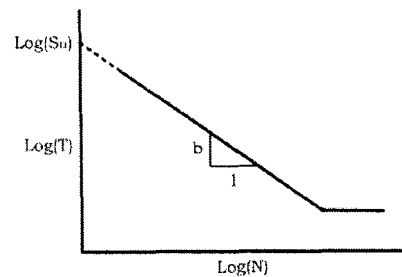


Fig. 10 T-N Curve

그리고 노면에 대한 동력장치 계통의 부품에 대한 피로 손상 정도의 정량화는 선형 손상도 개념인 Miner's Rule을 도입하였다. Fig. 10과 같이 토크-회전수 선도로부터 식 (5)가 도입되며, Miner's Rule에 의한 해당 노면의 누적 피로 손상도는 식 (7)에 의해 정의된다. 또한 동일 차량을 이용한 측정으로 비교 부품의 물성치가 동일함으로 분모를 무시할 수 있으며 식 (8)과 같이 상대 누적 피로 손상도 QD를 획득할 수 있다.^{5,6}

$$\text{Log}(T) - \text{Log}(S_u) = b \cdot \text{Log}(N) \quad (5)$$

$$N = \left[\frac{S_u}{T} \right]^{-1/b} \quad (6)$$

$$D = \sum_{i=1}^n \frac{n_i}{N_i} = \sum_{i=1}^n \frac{n_i}{\left[\frac{S_u}{T} \right]^{-1/b}} = \sum_{i=1}^n \frac{n_i \cdot T_i^{-1/b}}{S_u^{-1/b}} \quad (7)$$

$m = -\frac{1}{b}$ 로 하면,

$$QP = \sum_{i=1}^n n_i \cdot T_i^m \quad (8)$$

여기서, S_u 는 인장강도(Ultimate Strength)이며, b 는 피로 강도 지수(fatigue strength index)로서 일반 금속재료의 경우에는 -0.1에서 -0.33의 값을 가진다. 또한 T_i 와 n_i 는 각각 Revolution Counting이 된 변속기 입력 토크와 엔진회전수를 나타내며, m 은 T-N 선도의 기울기인 b 와 관련된 것으로 민수 자동차 회사에서는 Table 4와 같이 적용하고 있다.

Table 4 m values for Quantified Damage

m	value
Bearing	3.33
Ring Gear Bending	6.3
TM Gear Bending	8.389
TM Gear Surface(Case)	17.857

4.3 상대 피로 손상도 적용

본 절에서는 이상과 같은 과정에 의해 3개 시험로 및 3개 군 운용지역 기동로에 대하여 상대 피로 손상도를 분석하였다. 상대 피로 분석을 위해 비포장자갈길을 기준 피로 손상도로 설정하여 타 노면과 상대 비교하였다.⁶

Fig. 13과 Fig. 14는 각각 동력장치 계통의 변속기 기어 밴딩과 케이스에 해당하는 부품으로, 야지로와 J지역 기동로의 상대 피로 손상도 값이 급속히 감소하는 반면, Y지역 기동로는 증가하는 것을 알 수 있다. 또한, 포장 직선로와 비포장자갈길의 상대 피로 손상도에 대한 격차에 있어서 m 이 증가함에 따라 상대 부하 차이도 증가하다가 m 이 17.857인 경우에는 포장 직선로와 비포장자갈길 시험로의 상대 부하 격차가 감소함을 알 수 있다.

이는 식 (8)에서도 알 수 있듯이 변속기 입력 토크의 영향이 누적 엔진회전수 보다 큰 영향을 미치

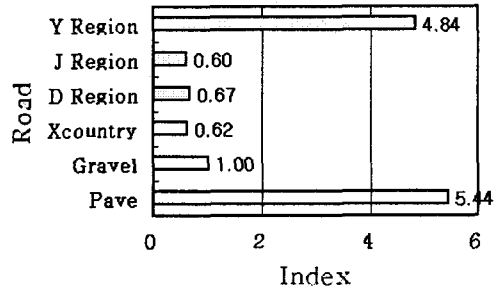


Fig. 11 Comparison of Quantified Damage(m=3.33)

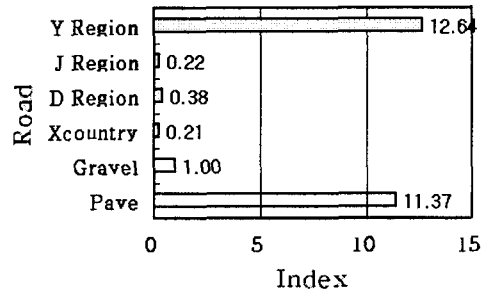


Fig. 12 Comparison of Quantified Damage(m=6.3)

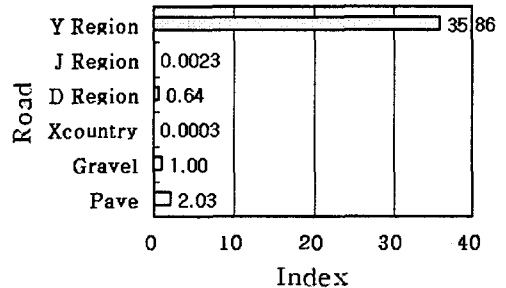


Fig. 13 Comparison of Quantified Damage(m=8.389)

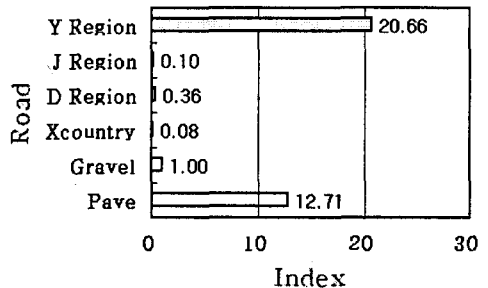


Fig. 14 Comparison of Quantified Damage(m=17.857)

는 것으로, 간헐적인 큰 토크가 피로도에 직접적인 영향을 미치고 있음을 알 수 있다.

이상의 결과에 의해 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다. 동일 노면을 주행하여 획득된 변속기 입력토크와 엔진회전수에 의해서도 동력장치의 부품별로 피로도에는 큰 차이가 발생한다. 또한 Fig. 6과 Fig. 7에서 보듯이 상이한 노면을 주행한 경우에 있어서도 낮은 토크 상태에서의 빈번한 축 회전보다는 높은 토크 상태에서 간헐적인 축 회전이 피로 손상도에는 더 큰 영향을 미친다는 것을 알 수 있었다. 즉, 노면 관점에서 기동로의 부하만을 상대적으로 평가할지라도 주행에 의해 동력장치의 주요 부품이 받는 상대 피로 손상도를 부품 단위로 평가할 필요가 있음을 알 수 있었다. 이는 향후 내구시험 단축화에 대한 연구에도 고려되어야 할 요소임을 확인할 수 있었다.

5. 결론

본 연구는 기동로 관점에서 동력장치의 부하를 평가하기 위한 것으로, 변속기 입력 토크와 엔진회전수를 이용한 Revolution Counting 기법과 누적 손상도 이론 등을 적용하여 동력장치의 피로 손상도를 평가하는 기술을 개발하였다.

그리고 시험장의 내구로 및 군 운용지역 기동로를 대상으로 상대적인 피로 손상도를 정량화하여 상호간의 비교를 수행하여, 기동시험장의 내구시험로가 전방 군운용지역의 기동로 부하 수준과 유사하거나 다소 높은 특성을 가짐을 확인할 수 있었다. 또한 향후 내구도 시험차량의 피로 수명 예측 시 부품 단위의 평가가 필요함을 알 수 있었다.

참고문헌

1. Yang, J. S., Lee, S. H., Goo, S. H. and Bae, C. H., "Development of Profilometer for Profile Measurement and Severity Analysis of Unpaved Test Courses," Journal of the Korean Society for Precision Engineering, Vol. 24, No. 1, pp. 37-46, 2007.
2. Yang, J. S., Lee, S. H., Goo, S. H., Lee, J. H. and Kang, D. K., "A Study on the Severity Control of Unpaved Test Courses," Journal of the Korean Society for Precision Engineering, Vol. 24, No. 2, pp. 47-57, 2007.
3. Han, S. W., Lee, S. R., Kim, W. D., Lee, H. J. and Kim, K. S., "Measurement of Service Torque by Using the Telemetry System and Prediction of Fatigue Life of Driveshaft for Passenger Car," Pro. on KSME Autumn Annual Meeting, pp. 65-72, 1995.
4. Julie, A. B., Jess, J. C. and James, L. H., "Fundamentals of Metal Fatigue Analysis," Prentice Hall, pp. 178-193, 1990.
5. ASTM, "Metals-Mechanical Testing: Elevated and Low-Temperature Tests," ASTM Annual Book, pp. 1-10, 1997.
6. Kim, J. C. and Cheong, Y. M., "Prediction of Cumulative Damage by Analysis of Automatic Transmission Endurance Test Mode," Pro. on KSAE Autumn Annual Meeting, pp. 776-781, 1999.