

〈논 문〉 SAE NO. 96370006

중부하 차량 동력전달계의 성능평가와 최적화

Dynamic Performance Estimation and Optimization for the Power Transmission of a Heavy Duty Vehicle

조 한 상,* 임 원 식,* 이 장 무,** 김 정 윤*
H. S. Jo, W. S. Lim, J. M. Lee, J. Y. Kim

ABSTRACT

Automatic transmission for heavy duty vehicles is a part of the power pack which includes steering and braking systems. This transmission is different from the one for passenger car. Therefore, in order to understand the trend of the important design parameters, maneuverability, acceleration performance and maximum speed, we need to analyze the total performance characteristics of the power transmission systems. In this study, modeling of the automatic transmission in heavy duty vehicle is carried out and the performance analysis method is presented. Results can be used for performance estimation data in the analysis for several combinations of engines and transmissions. Performance sensitivity analysis is also carried out by optimization method which determines the optimal parameters on the basis of penalty functions and weightings. And the estimation method of the important performance parameters such as engine inertia or power loss of engine by experiments is presented.

주요기술용어 : Automatic Transmission(자동변속장치), Performance Estimation(성능평가), Power Transmission System(동력전달계), Optimization(최적화), Sensitivity Analysis(민감도 해석), Design Parameter(설계 파라미터)

기 호 설 명

T, ω, I : 토크, 각속도와 관성
 $\alpha, \eta, r, \beta, R$: 기어비
 $\Delta t, a$: 시간증분과 각가속도
 P, η_{alt} : 발전기의 용량과 효율
 $\rho, S_{alt}, R_i, \xi_i$: 가중치, 현재값, 기준값과 위배비

* 서울대학교 대학원

** 정회원, 서울대학교 기계설계학과

1. 서 론

동력 전달계를 포함한 차량의 전체적인 성능에는 엔진과 변속장치의 기여도가 가장 크며 따라서, 주로 이 두가지에 대한 연구가 제조 회사를 중심으로 지금까지 많이 보고되고 있다.¹⁾ 그러나, 동력 전달계의 어떠한 설계인자가 차량의 성능에 지배적인 요소로 작용하고, 얼마나 영향을 미치는가 하는 문제에 대한 관심은 비교적 최근에 대두된 것으로서 1980년 이후 개발된 이러한 차량성능 시뮬레이션 프로그램으로 HEVSIM, VPS^{2), 3)} 등이 알려져 있을 뿐이다.

대형차량이나 군용차량의 변속장치는 일반 승용차용 변속장치와는 달리 조향장치와 제동장치가 일체로 되어 있는 파워팩(power pack)을 사용하며, 이것은 동력 전달계의 주요 구성요소가 된다. 이러한 파워팩내 변속장치의 주요한 기능은 엔진의 동력을 차량 구동계에 적합하도록 변화시켜 전달하는 것이며, 조향장치와 제동장치는 운전자가 원하는 차량의 움직임을 얻도록 전달된 동력을 적절히 조절하는 것이다.

본 연구에서는 중부하 궤도 차량의 동력 전달장치 전반에 대한 모델링과 성능 해석 기법을 소개하고, 현재 개발중이거나 기존 차량에 탑재되어 있는 파워팩과 엔진의 몇가지 조합을 대상차량에 적용하여 이론적 성능 해석결과를 제시함으로써, 차량의 기초 설계단계에서 필요한 포괄적인 성능의 개념 및 설계 방향의 지침과 함께 중부하 차량의 동력설정을 위한 자료가 되고자 하였다. 또한 이를 위하여 시뮬레이션 패키지(simulation package)를 개발하였으며, 몇가지 성능 파라미터에 대한 차량성능의 민감도 해석을 수행

하였다. 그리고, 엔진의 등가관성과 엔진부 동력 손실등 입력자료로 추정한 파라미터들을 동력전달계 다이내모미터(dynamometer)에서 실험한 결과를 이용하여 추정, 이를 본 해석에 적용할 수 있는 방안을 연구하였다.

2. 동력전달계의 모델링

군용이나 대형차량의 동력 전달계는 축, 기어, 베어링등과 같은 기계요소들로 주어진 복합 시스템으로서 Table 1과 같이 나누어 질 수 있다.

본 연구에서는 자동변속장치를 장착한 차량의 기동성에 관한 성능 평가를 주 목적으로 한 것이므로, 차량이 직진 변속 주행 상태만을 가진다고 가정하였다.

2.1 동력 전달계의 모델링

다음 그림은 엔진-변속장치-주행계의 모델링을 나타낸 것이다.

아래의 상태는 출발시와 변속시 토크 컨버터가 토크 증대상태로 작동할 때를 나타내며, 위의 모

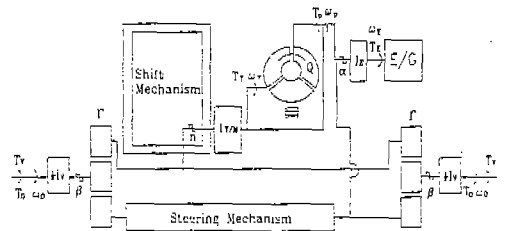


Fig.1 Automatic transmission modeling for simulation

Table 1 동력 전달계의 구성요소

주요 구성 요소		
동력전달계	구동원	엔진 또는 모터
	변속계	토크 컨버터 또는 원심클러치, 유성치차, 클러치
	조향계	기계식 클러치, 정유압 펌프 및 모터
	제동계	기계식 브레이크 장치, 리타더(Retarder)
	주행계	최종감속기어, 타이어, 캐터필러, 트랙

모델링을 사용할때 초기 차량은 스톱(stall) 혹은 아이들(idle)상태에서 출발하게 된다. 위의 모델링을 이용하여 정상주행상태를 가정하였을 경우, 유도되는 운동방정식은 다음과 같다.²⁾

$$I_E \dot{\omega}_E = T_E - \frac{1}{\alpha} T_p \tag{1}$$

$$[I_V + (\eta_T \beta)^2 I_{T/M}] \dot{\omega}_O = \eta_T \beta T_T - T_V$$

이때, 토크 컨버터의 요소중 펌프측과 터빈측의 물리량인 각속도들과 토크들의 관계는 입력자료로 주어진 토크 컨버터의 성능곡선 데이터를 수치해석을 통해 보간(interpolation)함으로써 얻을 수 있다. 한편, 일정속도 이상이 되면 변속장치는 효율 향상을 위해 록업(lock-up) 작동을 하게 되며, 이때에는 토크 컨버터의 펌프측과 터빈측이 직결되므로 다음과 같은 모델링으로 더욱 간략화할 수 있다.

이때 유도되는 운동방정식은 다음과 같다.

$$I_{eq} \dot{\omega}_O = (\alpha \eta_T \beta) T_E - T_V \tag{2}$$

$$\text{where, } I_{eq} = I_V + I_{T/M} (\eta_T \beta)^2 + I_E (\alpha \eta_T \beta)^2$$

결국 초기 정지상태에서 가속할 때의 차량의 거동은 다음과 같은 간단한 식으로 근사시킬 수 있다.

$$\frac{(T_O - T_V)}{I_{eq}} = a_{veh} \tag{3}$$

$$\omega_{out}^{new} = \Delta t a_{veh} + \omega_{out}^{old}$$

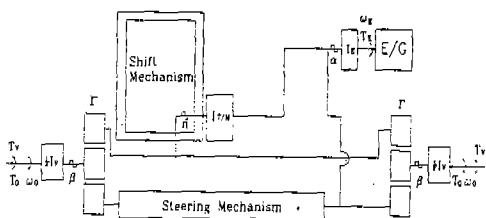


Fig.2 System modeling for lock-up mode

이때 입력되는 차량 제원, 변속장치와 엔진등의 자료이외에 아직 알려져 있지 않은 관성값들이나 주행 조건등은 다양한 실험 결과를 이용한 적절한 값으로 예측하여 대입하였으며 초기조건으로 토크 컨버터의 펌프측은 스톱 속도 혹은 아이들 속도로 가정하여 계산한다. 또한 변속과정중의 클러치의 미끄러짐으로 인한 과도현상은 전체 주행 성능에 거의 영향을 주지 않으므로 무시하였다.

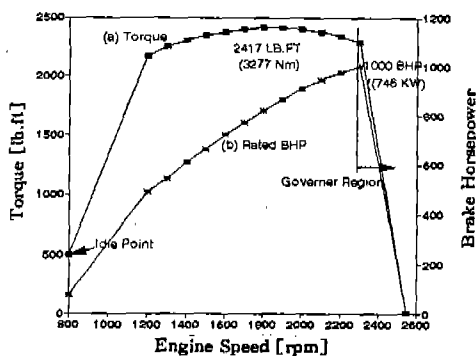


Fig.3 Engine performance curve

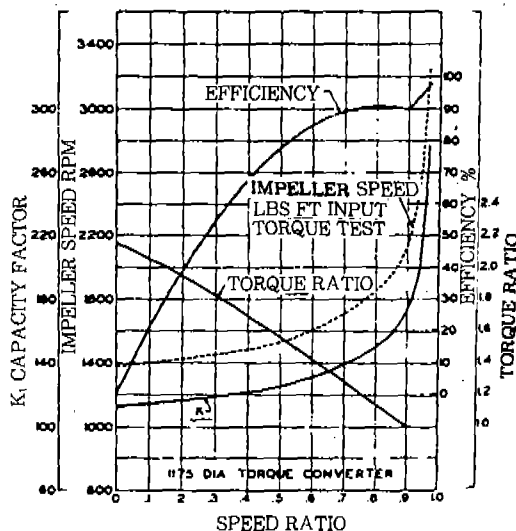


Fig.4 Torque converter performance diagram

2.2 구동원 및 변속계의 모델링

2.2.1 엔진과 토크 컨버터

동력전달계에 대한 해석은 변속장치의 특성을 고찰하는 것이 목적이므로 가능한 한 엔진의 영향을 배제하기 위하여 엔진은 풀 스로틀(full throttle)상태로 가정하였으며, 엔진 토크는 정상 상태에서 엔진속도의 2차 함수로 근사시켜 사용하였다. 또한 엔진에 대한 모델링에는 엔진 거버너(governor)영역과 아이들링(idling)영역, 급가감속에 대한 엔진 출력과위에 대한 사항이 추가로 포함되었다.

자동변속장치의 주요 구성요소인 토크 컨버터는 운전의 용이성과 저속시 그 가속능력이 뛰어나며, 작동의 신뢰성 및 유연한 발진등의 장점으로 그 장착 빈도가 높다. 토크 컨버터의 성능은 보통 아래와 같이 정의되는 세가지 파라미터에 따라 표시된다.

$$\begin{aligned} K_P &= \omega_P / \sqrt{T_P} : \text{용량계수} \\ \omega_r &= \omega_T / \omega_P : \text{속도비} \\ t_r &= T_T / T_P : \text{토크비} \end{aligned} \quad (4)$$

속도비에 대한 토크비와 용량계수곡선이 주어지거나, Fig.4와 같은 엔진과의 매칭곡선이 주어지면 스스로 필요한 토크 컨버터 입출력 속도와 토크들을 추출해낼 수 있다. 한편 록업을 통해 펌프축과 터빈축이 직결되어 있는 경우에는 단순한 고정된 기어비들만 고려해주면 엔진에서 바로 변속장치의 출력단에서의 속도와 토크를 계산할 수 있다.

2.2.2 변속장치 각 요소의 모델링

변속기어열은 유성기어들과 클러치들의 조합으로 구성된다. 백래쉬(back-lash)와 기어의 강성을 무시한 이상적인 경우 유성기어의 속도 관계식과 토크 관계식은 다음과 같다.

$$T_S = RT_R \quad (5)$$

$$R\omega_S + \omega_R = (1 + R)\omega_P$$

한편, 변속장치의 동력전달은 각종 기어열들에

의해 이루어지는데, 이러한 각 기어열에는 고유한 동력 전달 손실이 존재한다. 정확한 손실을 고려한 동력 전달 효율은 매우 복잡한 해석이 선행되었을 때에 한하여 계산되므로, 본 연구에서는 보통 알려진 몇가지 근사값을 이용해 전달 효율 계산을 하였으며 실험을 통해 데이터가 알려진 경우에는 그것을 그대로 이용하였다.

한편 차량은 주행중에 주행저항을 받으며 구동되므로, 실제 구동 토크와 주행저항의 차이에 의해서 가속이 된다. 주행저항은 공기 역학적인 저항, 캐터필러(caterpillar)구동저항, 동력 전달계의 마찰 저항등이 있으며, 공기 역학적인 저항의 크기는 차량의 속도의 제곱에 비례하고, 나머지는 저속인 경우에는 거의 일정한 것으로 알려져 있다. 이상과 같은 여러 주행저항중 차량과 토양 사이의 상호 작용에 의한 저항력을 계산하기 위해서는 수직압력과 전단 응력 분포를 알아야 하며, 이를 이용하면 저항력과 견인력(tractive effort)등을 계산할 수 있다. 본 연구에서는 이러한 저항력을 계산하기 위하여 일반적으로 사용되는 해석 방법인 MMP(Mean Maximum Pressure)근사식³⁾을 이용하였다.

대부분의 변속장치는 다수의 기어열들로 이루어져 있으며, 따라서 각 요소들의 관성을 고려할 시에는 각각의 관성에 기어비를 고려한 등가관성(equivalent inertia)으로 처리해 주어야만 한다. 본 연구대상 동력 전달계를 이산계(lumped system)로 고려하면 크게 엔진 관성, 변속장치 관성, 차량 관성의 3가지 등가 관성으로 처리할 수 있다. 여기서, 차량의 등가 관성 모멘트는 차량의 질량이 스포크렛반경의 끝에 위치한 것으로 생각하여 mvr^2 으로 계산할 수 있다.

국부적인 값만을 비교하여 볼 때 차량관성이 가장 큰 값이나, 엔진 관성과 변속장치 관성을 스포크렛끝으로 위치시켜 그 등가관성을 구해보면, 다음과 같이 여러 기어비들의 제곱을 곱해준 값으로 되기 때문에 상당히 큰 값이 되며 결국 차량의 성능에 큰 영향을 준다.

$$I_{eq, engine} = I_E \times (\alpha\eta\tau\beta)^2 \quad (2)$$

$$I_{eq, TIM} = I_{TIM} \times (\eta\tau\beta)^2$$

따라서, 동력전달계 전체의 성능해석시에 이 관성값들의 입력에는 가능한 높은 신뢰도가 요구된다.

본 연구에서는 클러치의 과도상태인 토크 상태에 대해서는 자세한 해석을 피하고, 변속과정을 근사화하였다. 이때, 록업 시점과 변속 시점은 다음과 같은 원칙을 따라 결정한다.

- 1) TCU(Transmission Control Unit)등의 분석을 통하거나, 제작회사가 제시한 록업 시점과 변속 시점의 정확한 자료가 있다면 그것을 그대로 제어데이터로 이용한다.
- 2) 정확한 자료가 없을 때에는 다음과 같은 방법으로 록업 시점과 변속 시점을 결정한다. 즉, 록업시점은 고정된 단수에서 토크 컨버터 성능곡선과 엔진 성능곡선을 출력축으로 환산했을 때 서로 만나는 점으로 가정하였으며, 변속 시점은 엔진이 거버너(governor) 영역에 들어간 직후에 정한다.

2.2.3 동력 손실

동력 발생장치인 엔진은 냉각팬을 구동시키는 냉각동력, 전원을 발생시키는 발전기 및 차량의 각종 보조동력을 PTO(Power Take Off)로 공급한다. 엔진으로부터 발생되는 총 동력(gross power)에서 PTO로 공급되는 손실동력을 뺀 정미동력(net power)이 변속장치의 입력축으로 전달되므로, 차량을 구동시키는 변속장치의 관점에서 PTO로 빠지는 동력을 동력손실(power loss)이라고 볼 수 있다. 이러한 동력손실은 변속장치 동력 전달 효율로 표현된다. 즉, 변속장치의 동력손실은 외부인 PTO에서의 외부 동력손실과 내부 부품들에서의 내부 동력손실로 대별된다. 본 절에서는 외부의 동력손실에 대해 간단히 그 종류와 근사식들을 나타내었다.

(1) 냉각 손실(fan cooling loss)

$$T_{fan}(\omega) = T_{max} \left(\frac{\omega_E}{\omega_{max,E}} \right)^2 \tag{7}$$

(2) 발전 손실

$$T_{alt}(\omega) = \frac{973.8 \times P_{alt}}{\omega_E \times \eta_{alt}} \tag{8}$$

(3) 기타 손실

차량에 사용되는 동력으로는 전기를 제외하고는 유압/공압등의 동력이 있으며, 여기서는 기타 손실이 속도에 관계없이 일정한 구동 토크를 갖는다고 가정하였다.

$$T_{etc} = constant \tag{9}$$

이상에서 각종손실을 구동 토크로 환산한 결과를 보면 엔진의 총동력에 해당되는 총 구동 토크에서 각종 손실을 뺀 것이 정미 토크, 즉 변속장치의 순수 입력 토크가 된다.

$$T_{net}(\omega) = T_{gross}(\omega) - T_{fan}(\omega) - T_{alt}(\omega) - T_{etc} \tag{10}$$

2.2.4 아이들 출발시의 모델링

일반적인 직진 성능해석시 차량의 출발은 토크 컨버터가 스톱상태일 때로 되어 있으며 따라서 최대 전인력도 출발 직후 시점에서 계산된다. 그

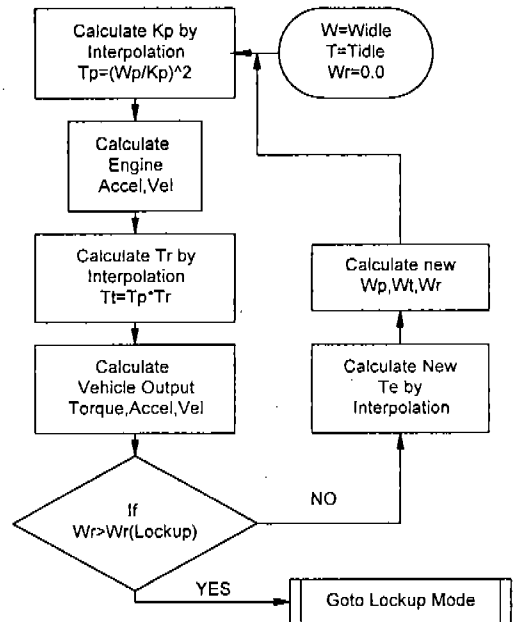


Fig.5 Flow chart of performance analysis for idle start

러나, 실제 차량은 보통 아이들 상태에서 풀스로틀로 출발하므로, 위의 기존 성능해석과는 보통 1-2초 정도 차이가 날 수 밖에 없다. 따라서 전체적인 동력전달계 성능평가에 큰 영향이 있으므로 이에 대한 결과도 비교 검토해 보아야 한다.

본 연구에서는 토크 컨버터의 성능 곡선에서 속도비에 따른 토크비값과 용량계수 값들을 이용하여 아이들 출발시의 모델링을 수행하였다. Fig.5는 이때의 속도들과 토크들을 계산하는 흐름도를 나타낸다. 또한 엔진의 아이들 속도부근의 특성곡선은 거의 알려져 있는 자료가 없으므로 본 연구에서는 아이들 상태와 정상상태와를 직선 보간을 이용하여 모델링하였다.

2.3 동력 전달계의 실험 분석을 통한 파라미터 추출

2.3.1 동력 전달계 실험 장치의 구성

동력 전달계의 모델링시 입력되는 관성과 강성 및 동력 손실등 구체적인 파라미터들의 값은 시뮬레이션 결과에 큰 영향을 미친다. 실제 차량에 장착되는 파워팩의 동적 파라미터 값들은 동력전달계 실험장치에서의 값들에서 어느정도 타당한 값들을 얻을 수 있는데, 본 연구에서는 실험 결과와의 비교로서 이론적인 입력 자료들을 수정, 보완할 수 있는 적절한 파라미터의 값들의 추출 기법에 대해 몇가지 예를 들어 고찰해보았다.

2.3.2 엔진부 동력 손실과 동가 관성의 실험적 추출

엔진부의 동력손실은 냉각장치를 비롯한 여러 요인에 기인한다. 앞절에서의 이론적 고찰과는

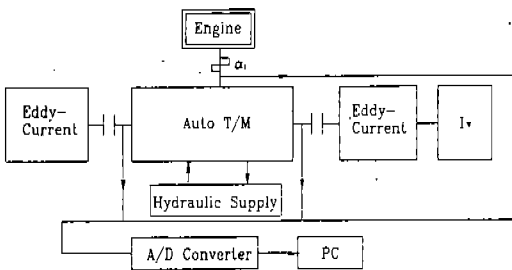


Fig.6 Schematic diagram of the dynamometer

달리 엔진부의 동력손실은 엔진의 성능곡선(global performance curve)에 의한 성능을 입력과 워로 고려하고, 측정 토크 T_{in} 을 엔진부 출력 토크로 고려하여 계산될 수 있다.

이때, 동력 손실량과 손실 토크는 다음과 같다.

$$P_{Loss, engine} = \omega_E (T_E - \frac{1}{\alpha_1} T_{in}) = \omega_E T_{loss} \quad (11)$$

풀스로틀을 상태에서 엔진속도에 대한 손실 토크와 엔진의 정미토크가 Fig.8에 나타나 있다. 이때의 엔진은 현재 군용차량에 실제 장착되어 쓰이고 있는 것으로서, 다음절의 해석결과의 대상이 되는 것이다. 실험 결과에서 손실 토크량이 전체 엔진 성능 곡선의 약 20%임을 알 수 있다.

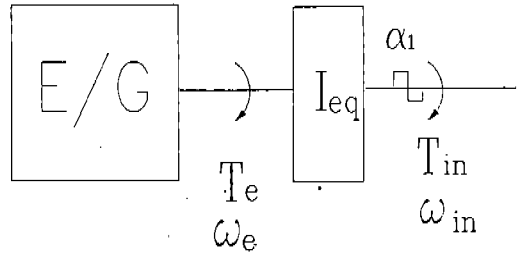


Fig.7 Schematic diagram for the power loss of an engine

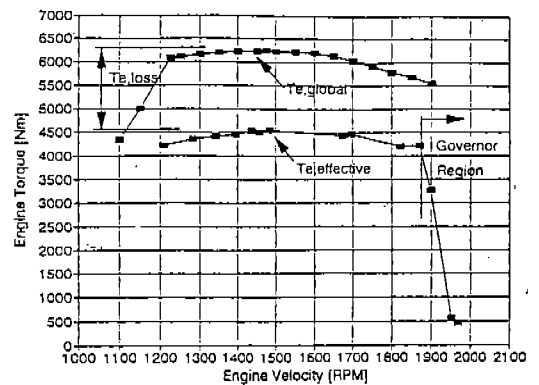


Fig.8 Performance curve of engine(global, net, loss torque)

한편 엔진부의 등가관성은 엔진 토크가 속도만의 함수라고 가정하고, 앞절에서 추출한 엔진의 정미 토크 성능곡선을 이용하여 다음과 같이 구할 수 있다.

$$I_{eq}\dot{\omega}_E = T_E - \frac{1}{\alpha_1} T_{in} \quad (12)$$

여기서 T_{in} 를 축정 토크라고 할 때, 일반 가속 실험에서 추출한 데이터를 이용하여 등가 관성을 가정할 수 있고, 이를 앞서 구한 정상상태 엔진의 정미 토크와 비교하여 엔진부의 등가 관성을 추출할 수 있다. 다음 그림은 관성값을 7.5kg m^2 으로 가정하였을 때의 엔진 토크와 정상상태 엔진 토크를 비교한 한 예로서, 이는 일반적으로 제작회사에서 주어지는 엔진 관성 값인 $3\sim 4\text{kg m}^2$ 에 입력 기어비 $1/\alpha_1$ 값이 약 2임을 고려할 때 그 타당함을 알 수 있다.

3. 해석결과 및 고찰

3.1 프로그램의 개요와 흐름도

각 구성요소들의 모델링을 이용하여 직진시의 성능해석을 수행하기 위한 프로그램을 개발하였다. 이는 스톱출발 및 아이들 출발에 대하여, 대상 엔진과 변속장치의 조합으로 이루어진 차량의 각종 성능평가 목록들을 계산할 수 있도록 하였으며, 성능에 비교적 큰 영향을 주는 파라미터들

에 대해서는 그 영향도를 평가하는 민감도 해석 (sensitivity analysis)을 수행할 수 있도록 하였다. 또한 변속 장치내의 각 구성요소의 특성을 나타내는 모듈(module)들은 모두 서브루틴화하여 독립시켜 완성함으로써, 각 요소들의 광범위한 적용을 가능하게 하였다.

Fig.10은 본 프로그램의 구성도와 이의 흐름도이다.

3.2 성능해석 결과

본 성능해석시 입력될 대상차량의 제원과 각종 특성치들은 다음과 같다.

- (1) 엔진-미국의 D사 제품으로서 A(800 HP)와 B(850 HP) 디젤 엔진의 두가지 종류를 비교하였다. 그리고 차량에 장착되어 있는 팬과 발전기를 구동하기 위하여 팬에서 약 120마력, 발전기에서 약 18.2kW의 외부손실이 존재한다.
- (2) 변속장치-미국의 A사가 개발한 중부하 차량용 4단 자동변속장치이며, 발전요소로 토크 컨버터를 사용하기 때문에 이의 성능곡선을 입력자료로 이용하였다.
- (3) 차량-무한궤도(caterpillar)로 이루어진 군용 특수차량으로서 무게는 약 43톤, 스프로킷의 직경은 0.63m이며 최종 감속비는 3.7이다.

한편 대상차량의 성능을 평가하는 기준이 되는 요구조건을 다음과 같이 가정하였다.

- (1) 최대속도-평지에서 62km/h 이상, 10% 경사도에서 23km/h 이상 그리고 60% 경사도에서 4km/h 이상의 최고속도에 도달 가능해야 하며, 평지에서의 최고속도 요구조건은 반드시 만족되어야 한다.
- (2) 가속성능-평지에서 정지시부터 32km/h 까지 도달할때까지 10초이내, 48km/h까지 도달할 때까지 30초이내여야 한다.

Fig.11~13은 본 대상차량과 변속장치에 엔진 B를 장착하였을 경우에 대하여 성능해석 프로그램을 이용하여 직진 주행 시뮬레이션을 수행한 결과이다. 우선 차량의 속도에 따른 출력과 주행 저항을 나타낸 것이 Fig.11이다. 두 곡선이 만나

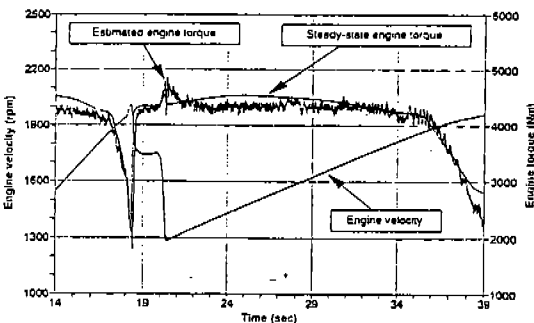


Fig.9 Performance curve of engine for $I_{eq} = 7.5\text{kg m}^2$

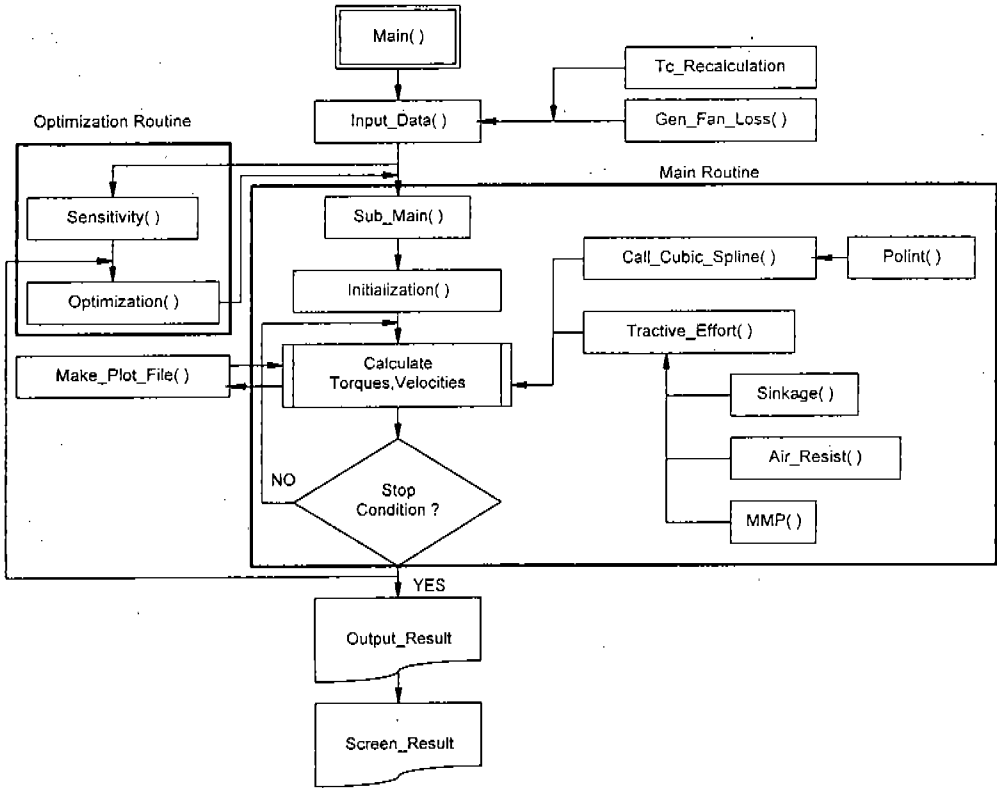


Fig.10 Flow chart of simulation program

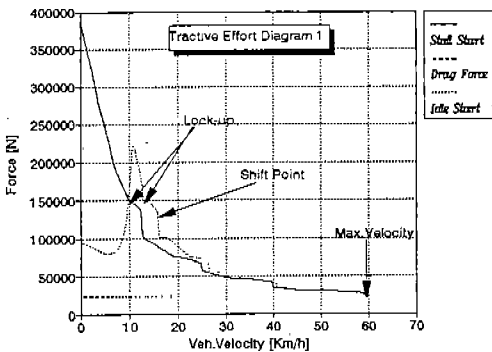


Fig.11 Simulation result—Tractive force and drag force

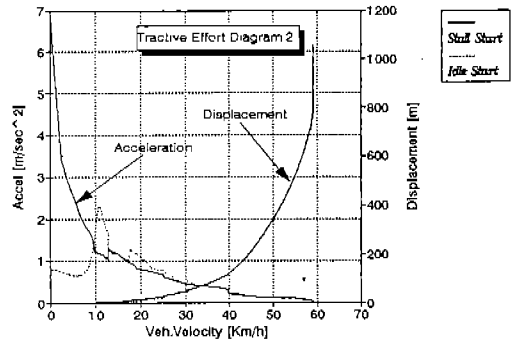


Fig.12 Simulation result—Acceleration and distance

는 점에서 최고속도를 구할 수 있으며, 출력과 주행부하의 차이가 차량을 가속시키는 견인력(tractive force)이 된다. 아이들 출발시는 초기에 토크 컨버터와 엔진의 과도상태의 영향으로 급출발시보다 견인력이 발생되지 않으며 이로 인하여 가속성능 계산시 결과가 약 1초정도 늦어지는 원인이 된다. Fig.12는 차량의 가속도와 주행거리를 나타낸다. 1단에서 2단으로의 변속시 가속도가 가장 크게 변하는 이유는 이순간의 기어비 차이가 가장 크기 때문에, 전체 등가관성의 변화도 역시 제일 크기 때문이다. Fig.13은 시간축에 대하여 차량속도와 이동거리를 나타낸 것이다.

한편 Fig.14는 각 경사도를 주행시 주행저항과 차량의 출력을 같이 그린 견인력선도(tractive effort diagram)이다. 이를 통해 각 경사도에서의 차량의 최고속도, 토크 컨버터 모드와 록

업 모드의 작동 영역 그리고 이를 통해 대상 변속장치와 엔진과의 매칭등을 알 수 있다.

Table.2는 본 대상차량과 변속장치에 엔진 A와 B를 장착했을 경우에 대하여, 각각의 스티출발시와 아이들 출발의 경우 직진 주행성능을 나타낸 것이다. 임시로 선정된 차량의 제원에 대하여 본 엔진과 변속장치를 사용하였을 경우 대부분의 요구성능에 미치지 못함을 알 수 있으며, 특히 아이들 출발의 경우 가속성능은 스티출발시보다 1초정도 차이가 나므로 더욱 요구성능에 미치지 못한다. 따라서 위의 대상차량의 제원은 요구성능을 만족시키기에는 적절한 값이 아니며, 차량이 주어진 조건하에서 최상의 성능을 나타내려면 최고속도, 가속성능, 동판성능등을 모두 고려하여 최적의 차량설계 파라미터를 찾아야 한다. 이때 여러가지 파라미터중 쉽게 설계변경이 가능하고, 성능에 큰 영향을 주는 스프로킷

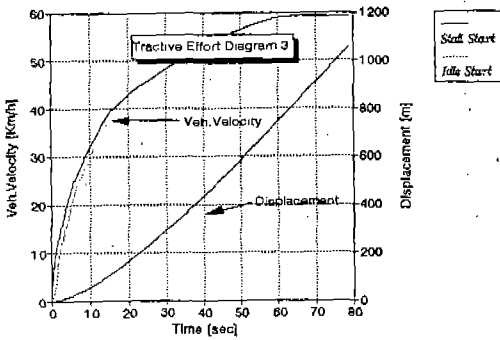


Fig.13 Simulation result—Velocity and distance

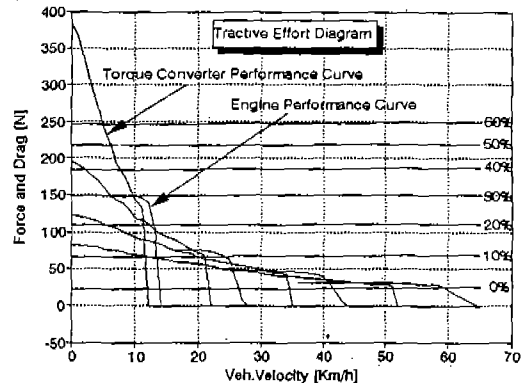


Fig.14 Simulation result—Tractive effort diagram

Table 2 Result of the performance analysis for the original vehicle

		최고속도 (km/h)	32km/h도달 시간(sec)	48km/h도달 시간(sec)	최 대 견인력	10% 등판 속도 (km/h)	60% 등판 속도 (km/h)	비고 r=0.315 β=3.7 m=45ton
A Engine (800HP)	Stall	59.28	10.1	29.6	0.869	24.35	4.79	
	Idle	59.28	11.3	30.8	—	24.35	4.79	
B Engine (850HP)	Stall	58.88	10.7	31.9	0.857	23.23	4.70	
	Idle	58.88	11.9	33.4	—	23.23	4.70	
요구성능		62.00	10.0	30.0	1.000	23.00	4.00	

반경과 최종감속비에 대해 최적값을 찾아보았다. 파라미터 최적화에 관한 상세한 설명은 3.3절에서 설명하고 우선 그 결과를 보면 Table.3과 같다.

최적화후의 스프로킷 반경과 최종감속비는 원래 설정된 값과 차이가 있으며, 이들을 통한 성능평가의 결과도 개선되었다. 우선 최고속도 요구조건에는, B엔진을 장착한 경우가 만족되고 있으며, A 엔진을 장착한 경우는 여전히 미치지 못함을 알 수 있었다. 가속성능의 요구조건에서는 최적화 전보다 오히려 약간 더 차이를 보이며, 등판성능이나 최대 견인력도 마찬가지였다. 이 원인은 최적화 과정시 가장 중요한 요구조건이 최고속도이며, 이 조건의 만족을 위해 이것의 가중치(weighting)를 가장 많이 주었기 때문이다.

따라서 본 대상차량은 B엔진과 D사의 변속장치를 사용하여 동력전달계를 구성하고, 위의 결과에서 제시된 스프로킷 반경과 최종감속비를 사용하여 차량을 설계한다면 요구성능에 가장 근접한 시스템이 될 것이다. 또한 요구조건중 모두 만족되지 못한 가속성능을 개선하려면, 다른 설계 파라미터의 변경, 즉 출력이 더 높은 엔진을 사용하거나 외부손실중 가장 큰 값인 팬과 발전기 손실을 줄이거나 하여야 하며, 그렇지 않으면 가속성능 요구조건위 완화가 필요하다는 것을 알 수 있다.

3.3 파라미터들의 최적화

직진에 관한 성능은 일반적으로 최고속도, 가

속성능, 등판성능, 최대견인력(최대출력과 차량 무게와의 비)등으로 평가된다. 차량의 제원과 동력전달계의 구성시 위의 모든 조건이 만족되도록 설계하면 최상의 시스템이 될 수 있으나, 설계시의 제한조건이 있는 경우 차량의 목적과 주 활동 환경등 외부적 요인에 따라 몇가지 조건만을 만족하는 시스템을 구성할 수 밖에 없다. 본 연구에서는 동력전달계가 제한조건으로 이미 선정된 경우, 차량의 제원중 설계변경이 비교적 용이한 스프로킷 반경과 최종감속비의 최적화를 통해, 차량이 주어진 요구성능을 가능한 한 만족하도록 하는 설계방법을 설명하였다.

목적함수와 사용된 변수들은 다음과 같다.

Minimize

$$\Phi = \sum_{i=1}^4 \rho_i \frac{R_i}{S_{Ni}} + \sum_{i=5}^6 \rho_i \frac{S_{Ni}}{R_i} \tag{13}$$

$$\rho_i = \exp\left[\zeta_i \frac{R_i - S_{Ni}}{R_i}\right], i=1\sim 4 \tag{14}$$

$$\rho_i = \exp\left[\zeta_i \frac{S_{Ni} - R_i}{R_i}\right], i=5\sim 6 \tag{15}$$

여기서

- i: 1-Maximum velocity at 0% road gradient
- 2-Maximum velocity at 10% road gradient
- 3-Maximum velocity at 60% road gradient

table 3 Result of the performance analysis for the optimized vehicle

		최고속도	32km/h	48km/h	최 대	10% 등판	60% 등판	최적화결과	
		(km/h)	도달시간	도달시간	견인력	속도	속도	r	β
A Engine (800HP)	Stall	62.33	10.3	30.0	0.822	23.93	4.62	0.325	3.61
	Idle	62.36	11.4	30.8	—	23.93	4.62		
B Engine (850HP)	Stall	61.15	10.7	32.4	0.821	23.09	4.56	0.331	3.61
	Idle	61.43	11.8	33.6	—	23.09	4.56		
요구성능		62.00	10.0	30.0	1.000	23.00	4.00	0.318	3.58
								0.329	3.58

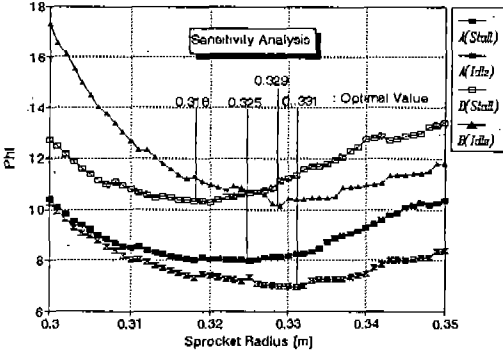


Fig.15 Optimization result—Sprocket radius

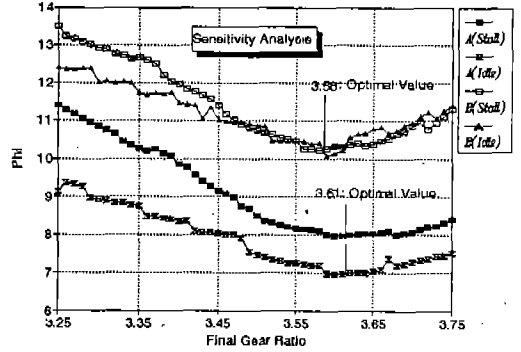


Fig.16 Optimization result—Final gear ratio

4-Maximum tractive ratio(if idle start, this value must be zero)

5-Time at 32 km/h

6-Time at 48 km/h

가중치는 목적에 따라 주관적으로 정할 수 있으며, 본 연구에서는 가중치 계산에 위배함수 (penalty function)를 사용하였고, 이때 가장 엄한 요구조건인 $i=1$ 에 대한 가중치를 가장 크게 주었다. 만약 차량이 주로 사용되는 곳이 산악지 대같은 특수한 환경이라면 $i=2$ 또는 3에 대한 가중치를 다른 조건보다 크게 해야 할 것이며, 따라서 이때 구해진 최적값에 따라 설계된 차량은 등판성능이 보다 강조된 차량이 될 것이다.

이를 이용한 결과가 Fig.15와 Fig.16에 나타나 있다. 스프로킷 반경은 모두 0.315~0.331m 사이에 최적값이 존재하며, 그 원인으로 이것이 증가함에 따라 최대견인력의 값은 줄어으나 최고 속도와 가속 성능등이 증가하기 때문이다. 따라서 임시로 선정된 값인 0.315m 보다 다소 큰 값이 최적의 성능을 낼 수 있다는 것을 알 수 있었다. 한편 성능에 상당히 민감한 최종감속비의 최적값은 대개 3.58~3.61사이로 판단되었으며, 설계시 기어잇수가 정수이므로 크기등을 고려하여 제작가능한 기어비를 구해진 최적값의 범위내에서 선택할 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 중부하 궤도차량의 동력전달장치에 대한 모델링과 그 성능해석 프로그램을 개발하여, 대상차량에 몇가지 동력전달계를 장착한 차량에 대해 이를 적용시킨 결과들을 분석하였다. 이를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 중부하 궤도차량에 대하여 모델링을 수행하고 수치해석을 수행하였으며, 특히 주행 성능평가기 급출발과 아이들 출발로 구분하여 비교 분석할 수 있도록 하였다.
- 2) 본 연구의 대상차량에 내, 외부 손실들을 고려하여 몇가지 동력전달계의 조합에 대해 성능해석을 수행해본 결과 각각의 요구 성능들의 만족도등을 쉽게 평가할 수 있었다.
- 3) 각 설계 파라미터들의 민감도 해석을 수행해본 결과 스프로킷 반경과 최종감속비는 최적의 성능을 나타낼 수 있는 값들이 존재하며, 특히 스톱출발과 아이들 출발시 각각 다른 최적의 값들이 존재함을 알 수 있다.

후 기

이 연구를 지원하여 준 (주)삼성중공업 및 터보·동력기계연구센터에 감사한다.

참 고 문 헌

1. Cartwright, B. E., 1973, "Design Practices : Passenger Car Automatic Transmission", SAE, New York.
2. 박영일, 1991, "차량용 변속장치의 변속과 도특성에 관한 연구", 서울대학교 공학박사 학위논문
3. Phillips, A. W. and Assanis, D.N., 1990, "Development and Use of a Vehicle Powertrain Simulation for Fuel Economy and Performance Studies", SAE 900619
4. Hori, Y., Fukuda, M. and Kobayashi, Y., 1987, "Computer Simulation of Vehicle Fuel Economy and Performance", SAE 860394
5. Bekker, M. G., 1956, *Theory of Land Locomotion*, University of Michigan Press
6. 김정윤, 1994, "중부하차량 동력전달계의 성능평가에 관한 연구", 서울대학교 공학석사 학위논문