

공회전 출발시 자동변속기탑재 차량의 구동성능예측 A driving performance prediction of the vehicle mounted with automatic transmission at idle start

김태진, *정순배 (국방과학연구소)
Taejin Kim, *Soonbae Chung (Agency for Defense Development)

ABSTRACT

On the prediction of driving performance, an acceleration performance is normally simulated in stall starting condition which is the engine status of full-throttle and high-speed. The lack of transient engine torque data makes the difficulty of predicting an acceleration performance on engine-idle start condition. A experimental equation of transient engine torque is derived from vehicle performance test data. It is applied to simulation the acceleration performance prediction on idle starting condition.

Key Words : automatic transmission(자동변속기), idle start(공회전 출발), stall start(스톨 출발), driving performance prediction(구동성능예측), acceleration performance(가속성능)

1. 서 론

차량의 구동성능은 가속성능, 최고속도, 연료소비율, 등판성능 및 제동성능 등으로 대별될 수 있다. 차량의 설계시 구동성능 목표치를 달성하기 위해 동력장치를 중심으로 구동성능의 예측이 필수적이다.[2] 토오크 컨버터식 자동변속기가 탑재된 차량은 엔진의 동력이 구동력으로 변환되는 과정에서 엔진의 과도상태에 의해 공회전 출발시 가속성능예측이 용이하지 않으므로 엔진 전부하/고회전 상태에서 차량의 가속성능을 예측하는 스톨(stall) 출발시 가속성능을 사용하고 있는 실정이다.[4~6] 토오크컨버터의 정상상태를 중심으로 구동성능을 예측한 스톨 출발시 가속성능은 공회전 출발시 가속성능에 비해 약 2~3초간의 차이가 있으며, 구동성능예측에 필요한 엔진관련 저속부 데이터의 부족으로 스톨 출발시 가속성능에 의해 차량의 동력장치 용량을 결정하였다.

일반적 개념의 가속성능은 공회전 출발시 가속성능을 의미하므로 스톨 출발시 가속성능 예측결과와 공회전 출발시 가속성능 실차시험결과의 괴리는 차량개발 결과에 심각한 영향을 주기도 한다. 따라서, 본 연구는 공회전 출발시 차량의 가속성능을 예측하기 위하여 엔진 과도상태에 대한 엔진 토오크를 고찰하여 공회전 출발시 가속성능에 대한 예측방안을 고찰하고자 한다.

2. 차량의 가속성능 해석

2.1 스톨출발시 가속성능해석

일반적으로 주행성능예측시에 많이 사용하는 방법인 스톨출발은 초기출발조건을 엔진의 전부하상태와 고속회전 상태로 구동하여 제동장치를 작동시킨 상황에서 출발하여 주행성능예측을 실시한다.

차량의 동력전달의 흐름은 다음과 같으며 변속기는 토오크컨버터가 장착된 자동변속기를 적용하였다.

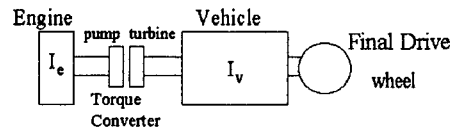


Fig.1 The Scheme of Vehicle Driving System

토오크컨버터가 장착된 변속기를 사용하는 경우 토오크컨버터의 특성과 엔진의 출력특성을 따른 매칭을 고려하여야 되고, 토오크컨버터 터빈의 출력토오크를 고려한 구동력 TE는 다음과 같다.

$$TE(Tractive\ Effort) = \frac{T \times \xi \times \eta}{R_S} \quad (1)$$

여기서, T 는 토오크컨버터의 터빈출력을 나타내고, ξ 는 최종구동축까지 전달효율을 나타내며, η 는 최종구동축에 이르는 총기어비(변속기의 각 단 기어비 \times 종감속기 기어비)를 표시하고, R_S 는 구동륜의 지름을 나타낸다. 다음 그림은 토오크컨버터의 터빈 출력토크를 나타낸 전형적인 특성곡선이다.

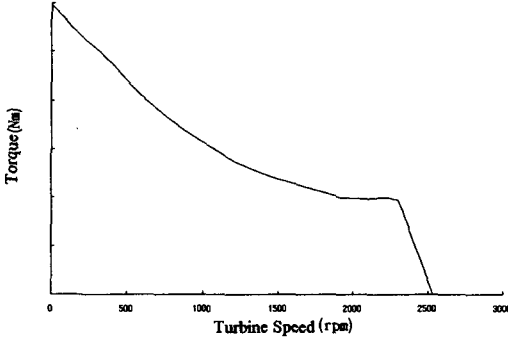


Fig.2 The Scheme of Vehicle Driving System

차량 주행부하로 작용하는 주행저항 F_D 는 다음과 같이 구분된다.[2]

$$F_D = F_A + F_R + F_G \quad (2)$$

공기저항 F_A 는 속도의 제곱에 비례하고, 구름저항 F_R 은 차량중량과 차량속도의 함수이며, 구배저항 F_G 는 차량의 주행환경에 의해 결정된다.

가속성능의 계산에 필요한 Newton법칙을 이용하여 모델링하면 다음과 같다.

$$M_{veh} [1 + \sum I_{eq}] \frac{dv}{dt} = F_S - R_L - F_D \quad (3)$$

여기서 M_{veh} 는 차량의 총중량이고, [] 내부의 수식은 차량의 회전에 관련된 엔진, 변속기 등의 회전관

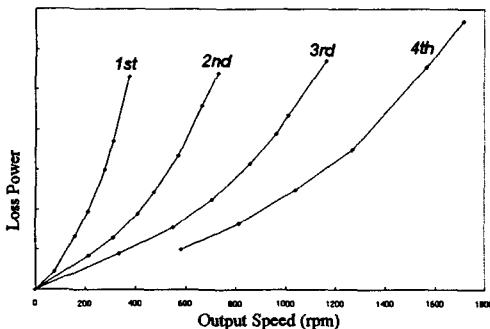


Fig.3 Spin Loss on Torque Converter Mode

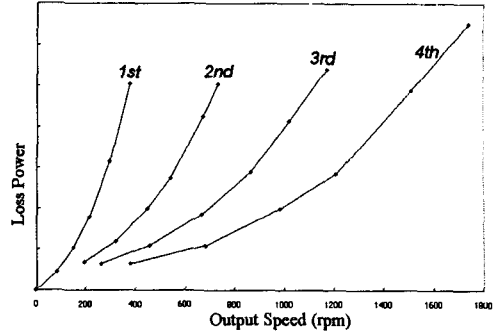


Fig.4 Spin Loss on Lockup Mode

성량을 포함하고 있는 등가 관성질량이다. v 는 차량속도를 나타낸다. F_S 는 구동력을 나타내며, 동력전달손실 R_L 은 동력전달부의 전달효율에 관련된 값을 나타낸다.

가속성능예측의 정확성을 높이기 위해서 각 단별 그리고 토오크컨버터의 토오크모드와 록업모드로 나누어 손실동력을 측정된 결과는 Fig.3과 Fig.4와 같다. 등가관성질량 I_{eq} 은 다음과 같은 식으로 나타낸다.

$$I_{eq} = \frac{\sum I}{M_{veh}} \times \left(\frac{i}{R_S} \right)^2 \quad (4)$$

여기서 i 는 각 구동부의 구동륜에 대한 기어비이다. 엔진의 회전질량과 변속기의 회전질량 등의 구동부 관성질량을 구동륜 출력축에 등가하여 총합하여 차량중량으로 나눈 값을 등가관성질량으로 정의한다.[2]

2.2 스톱출발 가속성능예측결과 검증

스톱출발 가속성능예측 시뮬레이션결과와 시험결과를 비교하면 다음과 같이 유사한 결과를 보이고 있음을 볼 수 있다.

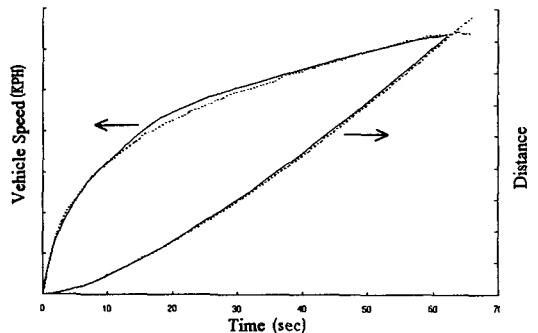


Fig.5 The Comparison of Stall Start

Fig.5에서 실선이 예측결과이며 점선은 시험한 결과를 나타내었다. 스톱출발에 의한 가속성능예측 및 비교시험은 거의 유사한 결과를 나타냄을 알 수 있다.

따라서 본 차량의 스톱출발 가속성능예측에 사용한 차량의 동력장치 모델 및 입력자료가 정확함을 알 수 있으며 이 모델을 이용하여 공회전 출발시의 구동력 및 엔진의 과도토크를 계산할 수 있다.

2.3 공회전출발시 가속성능해석

차량시험시 속도측정은 비교적 용이한 부분으로 차량속도 측정결과를 입력으로 스톱출발성능예측에서 구형한 동력장치 모델을 이용하면, 공회전 출발시 구동륜의 구동력 F_s 를 식(3)에서 계산하는 것이 가능해진다. 또한, 구동륜의 구동력과 토오크컨버터의 터빈 속도와 토오크컨버터의 특성곡선을 이용하면 공회전 출발시 엔진 과도토크에 대한 계산이 가능하게 된다. 다음 그림은 차량상태에서 공회전 출발시 측정된 차량속도를 시간에 대해 출력한 결과이다.

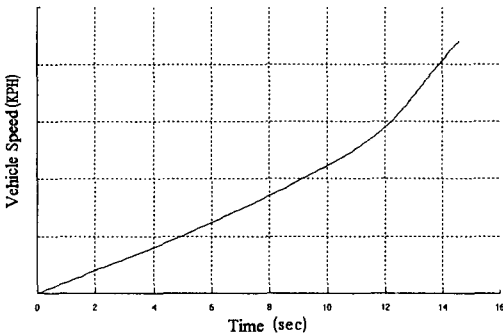


Fig.6 Vehicle Speed of Idle Start

차량 및 다이노모에서 얻어진 시험결과를 이용하여 차량의 구동력선도를 구한 결과 그림과 같이 스톱상태

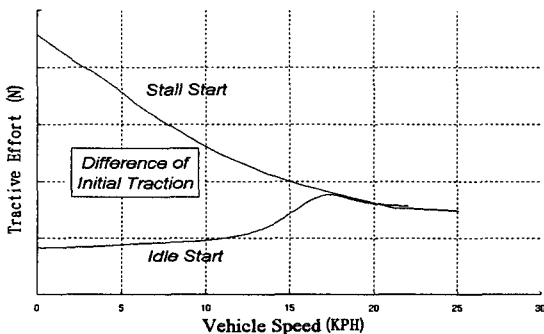


Fig.7 Tractive Effort of Idle Start and Stall Start

와 비교하여 공회전 출발시 초기 구동력의 차이를 보였다. 이 결과를 이용하여 엔진의 과도상태를 구하면 Fig.7과 같다.

Fig.8에서 나타난 바와 같이 공회전시 출발시 출력저하현상은 디젤엔진의 과급기 특성 또는 엔진과도 특성으로 충분한 부하조건에 이르지 못한 상태임을 알 수 있으며, 스톱출발에 비교하여 구동력은 약 20% 정도의 출력으로 감소하기 때문에 가속성능의 차이가 크게 나타난 원인으로 해석된다.

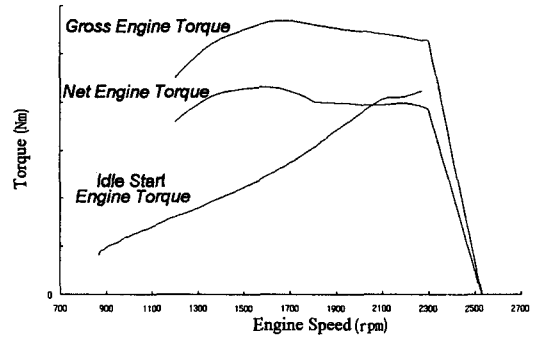


Fig.8 Transient Engine Torque of Idle Start

출력축의 속도와 토오크를 토오크컨버터의 터빈축으로 환산하고 토오크컨버터 특성곡선을 이용하여 공회전시 엔진출력축의 구동토크를 산출한 그림이 Fig.8이다. 이 그림에 나타난 바와 같이 디젤엔진 과급기의 저속시 과급성능저하와 엔진의 회전관성력에 대한 손실동력에 의해 공회전시의 엔진 출력토크가 저하된 원인으로 판단된다. 이러한 엔진의 출력저하에 의해 공회전 출발시 가속성능과 스톱출발시 가속성능은 큰 차이가 나타나게 된다.

3 엔진과도토크 실험식 도출

Fig.8과 같이 구하여진 엔진의 과도특성에 대한 실험식을 도출하기 위하여 다음과 같은 형태의 수식으로 표현이 가능하며, 이 실험식은 엔진의 과도출력 특성이 엔진의 출력에 의한 영향과 엔진의 관성력에 의한 영향이 고려된 형태이다.

$$T_{EG} = f(HP) + f(Inertia) \quad (5)$$

본 연구에서는 엔진 과도토크를 지수의 형태로 엔진의 출력과 회전관성을 고려한 수식을 다음과 같이 구성하였다.

$$T_{EG} = c_1 e^{c_2(\omega - c_3)} + c_4(1 - e^{c_5(\omega - c_6)}) + c_7\omega + c_8 \quad (6)$$

여기서, T_{EG} 는 엔진의 토오크이며, ω 는 엔진의 회전속도를 나타낸다. 최적화기법을 이용하여 식(6)의 계수 $c = \{c_1, c_2, \dots, c_8\}$ 를 도출하였다. 최적화 모델을 수립하기 위하여 목적함수 Φ 는 다음과 같이 정의하였다.

$$\min, \Phi = \int (T_{meas}(\omega) - T_{estim}(\omega))^2 dt \quad (7)$$

여기서, $T_{meas}(\omega)$ 는 시험을 통하여 획득한 데이터며, $T_{estim}(\omega)$ 는 실험식에 의해 추정된 예측값이다.

각 변수의 결과값은 상용패키지인 MATLAB의 최적화루틴을 이용하여 구하였다.

각각의 변수들은 엔진의 출력과 회전질량에 따라 다른 값을 가질것으로 판단되며 다양한 형태의 엔진에 대한 데이터베이스를 구축하므로써 보다 정확한 성능예측이 가능할 것으로 판단된다.

계산된 수식을 활용하여 Fig.7과 같은 구동력선도를 계산한 후 최종적으로 공회전 출발에 의한 가속 성능을 계산할 수 있다.

4. 성능예측과 시험결과의 비교검토

공회전 출발시 Fig.8로 수식화한 엔진의 과도상태를 이용하여 공회전 출발시의 결과와 비교하여 보았다.

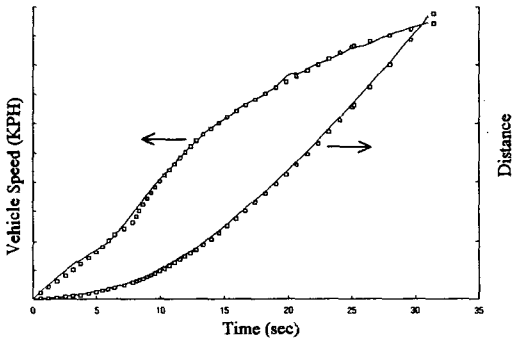


Fig.9 The Comparison of Idle Start

시험결과는 계산된 수식이 유도된 입력데이터와 비슷한 조건에서 실시된 시험결과이다. 이상의 공회전 출발시 가속성능은 Fig.5의 스톱출발시 가속성능에 비해 초기의 가속상태가 매우 늦게 나타나고 있으며, 출발후 7초간의 속도 기울기가 공회전출발과 스톱출발의 가장 큰 차이로 부각되고 있다. 이러한 차이는 초기 엔진과도토포크의 저하에 의한 것

임을 본 연구의 분석결과로 알 수 있었다.

5. 결 론

이상과 같이 스톱출발에 사용되는 동력장치모델을 활용하여, 공회전 출발예측방안을 제시하고 엔진과도토포크 실험식을 적용하고 결과를 검토하여 보았다. 이 과정을 통해서 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 공회전 출발시 저속구간에서 구동하고 있는 동력장치의 구동력과 스톱출발시의 구동력차이를 확인하였다.
- (2) 공회전출발시 초기 엔진의 과도특성을 구하고 이를 수식으로 표현한 실험식을 제안하여 적용하였다.
- (3) 엔진의 과도특성을 나타내는 수식으로 공회전 출발예측한 결과와 공회전출발시 획득한 시험결과를 비교하여 유사한 결과를 확인할 수 있으며, 이런형태의 수식으로 엔진의 과도상태를 묘사할 수 있음을 알 수 있었다.
- (4) 다양한 차량의 공회전 출발을 예측하기 위해서는 다양한 동력장치에 대한 시험데이터와 비교가 필요할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. AMCP 706-355, Engineering Design Handbook, U.S. ARMY MATERIAL COMMAND, April 1967
2. Theory of Ground Vehicles, JOHN WILEY & SONS, J.Y.Wong
3. 무단변속용 정유압기계식 변속기 탑재 구동계의 성능해석, 한국정밀공학회지, 송 창섭, 강 서익, 1995
4. Prediction of the Performance of Four - Wheel - Drive Passenger Vehicles, Journal of Terramechanics, H.R.Kemp, 1993
5. Engine / Converter Matching, ATD Technical Document No. 148, 1991
6. Transient Characteristics of Torque Converter Its Effect on Acceleration Performance of Auto - Trans. Equipped Vehicles, SAE 900554, Kenjiro Fujita and Seitchi Inukai, 1990