

〈논 문〉 SAE NO. 97370095

엔진-CVT 통합제어에 관한 연구(I)
-통합제어 알고리즘 개발
 Study on Engine-CVT Consolidated Control(I)
 -Development of Consolidated Control Algorithm

김 달 철*, 김 현 수**
 D. C. Kim, H. S. Kim

ABSTRACT

In this paper, engine-CVT consolidated control algorithm was developed. Engine-CVT control strategy suggested uses throttle control based on power difference and CVT ratio control based on CVT ratio map. Simulation results showed that the larger the rate of CVT ratio, the better the engine performance on the optimal operation line. Also, it was found that the engine performance where the magnitude of the acceleration changes abruptly depends on the magnitude of the rate of CVT ratio. Comparing the results of CVT control only without engine control, the engine-CVT control algorithm suggested in this work showed better performance demonstrating that the consolidated control algorithm should be required for the engine optimal operation.

주요기술용어 : Continuously Variable Transmission(CVT, 무단변속기), OOL(최적운전곡선), Engine-CVT Consolidated Control(엔진-CVT 통합 제어), Speed Ratio Rate(변속비 변화율)

1. 서 론

최근 석유 자원의 고갈과 환경 문제 등으로 인하여 자동차의 연료 소비 절감이 중요한 과제로 대두되고 있다. 이러한 연료 소비의 감소를 위한 방안으로는 크게 ① 차량의 경량화, ② 배기 가스의 절감, ③ 연비의 향상 등의 방법이 있다. ③의 연비 향상을 엔진과 변속기의 관점에서 본다면 엔진이 항상 최저연비상태에서 운전될 수

있도록 엔진과 변속기를 제어한다면 최소연비 효과를 기대할 수 있을 것이다.

일반적으로 가솔린 엔진의 경우 BSFC(Brake Specific Fuel Consumption) 등고선과 등동력선도(Iso-Power Curve)에서 엔진의 최저연비운전을 위한 최적운전곡선(OOL: Optimal Operating Line)을 구할 수 있으며 차량의 엔진이 주어진 주행모드에 대하여 최저연비 OOL 상에 운전된다면 연비 향상을 얻을 수 있다.

이를 위하여는 차량속도와 엔진속도를 적절히 연결해주어야 하며 기존의 몇 단계의 변속비만을 가진 MT(Manual Transmission)나 AT(Auto-

*성균관대학교 대학원

**정회원, 성균관대학교 기계공학부

matic Transmission)로는 최적인전곡선상에서 엔진을 운전하는 것이 불가능하고 연속적인 변속비를 가진 CVT(Continuously Variable Transmission)를 통해서만 이의 구현이 가능하다.^{1), 2)} 그러나 기존의 연구³⁾에 의하면 CVT 변속비 제어만으로 차속을 제어하면서 엔진의 운전점이 OOL상에 있기 위한 엔진 속도를 제어하는 것은 어느 정도 가능하지만 엔진 토크를 동시에 제어하는 것은 어렵다고 보고되고 있다. 따라서 OOL상에서 엔진이 운전되기 위해서는 엔진의 속도뿐만 아니라 엔진 토크도 동시에 제어되어야 하며 이를 위해서는 엔진의 드로틀 개도 제어가 동시에 이루어져야 한다. 즉 차량의 주행성능을 만족시키면서 연비의 향상을 도모하기 위해서는 엔진의 드로틀 개도와 CVT의 변속비를 동시에 제어하는 엔진-CVT 통합제어(Engine-CVT Consolidated Control)가 필요하다.

엔진과 CVT 통합제어에 관한 연구는 80년대 초 NASA에서 기초적인 연구가 수행된 바 있으나 실용적인 관점에서는 CVT가 실용화된 90년대 이후 시작되었다. NASA⁴⁾에서는 차량속도 차이에 의하여 드로틀 개도를 제어하고 변속비 제어와 엔진 속도 제어를 통하여 엔진의 최적운전을 실시하는 알고리즘을 제시하였다. 그러나 NASA에서 제시된 알고리즘은 엔진이 단지 차량속도를 추종하기 위하여 제어되므로 엔진의 최적인전에는 어려움이 있다. Takiyama와 Morita^{5), 6)}는 특정동력을 기준으로 엔진토크차이 또는 차량속도차이에 의해 차량속도를 제어하고 엔진속도차이에 의해 변속비를 제어하는 엔진최적인전 알고리즘을 개발하였다. 그러나 가속도가 급격히 변하는 과도시에는 좋은 엔진운전성능을 얻지 못하였다.

따라서 본 논문에서는 엔진의 동력제어 개념을 도입한 드로틀 개도 제어와 CVT 변속비 제어기법을 도출하여 보다 효과적인 엔진-CVT 통합제어 알고리즘을 개발하고자 한다.

2. 엔진-CVT 통합제어기 설계

차량 모델링

엔진-CVT-차량 구동부로 이루어진 차량의 본

드그래프(bond graph)모델을 Fig.1에 도시하였다. 엔진동역학은 본드그래프의 1-교점에서 엔진토크(T_e)와 CVT 입력토크(T_{net})로 다음과 같이 표시된다.

$$\dot{J}\omega_c = \frac{60}{2\pi} \{T_e(\omega_c, \theta) - T_{net}\} \quad (1)$$

여기서 J 는 엔진축에서 계산된 차량의 등가관성(Equivalent Inertia)이다. 또한 차량 동역학은 다음과 같이 표시된다.

$$M\dot{V} = F_d - F_L \quad (2)$$

여기서 F_d 는 차량구동력(Driving Force), F_L 은 차량주행저항력이다. 차량주행저항력은 회전저항, 항력, 동판저항으로 이루어진다.

위의 식들을 차량동역학 관계식에 대하여 차량 가속도에 관해 정리하면 다음과 같다.

$$\dot{V} = \frac{\frac{inT_e}{r_i} - F_L - \frac{n^2 i \frac{di}{dt} J}{r_i^2}}{M + \frac{(in)^2 J}{r_i^2}} \quad (3)$$

여기서 i 는 CVT 변속비, di/dt 는 변속비 변화를, n 은 종감속기어비, r_i 는 타이어 반경이다. 식 (3)에서 알 수 있듯이 CVT 차량가속도 \dot{V} 는 엔진토크, CVT 변속비, 변속비 변화율의 함수로 표시된다.

엔진-CVT 통합제어 알고리즘

엔진의 최적인전곡선 : 엔진-CVT 통합제어는

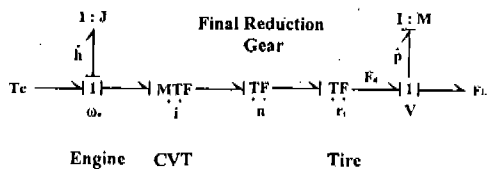


Fig.1 Bondgraph Model of CVT Vehicle

운전자가 요구하는 차량속도를 만족시키고 동시에 최저연비 또는 최대동력운전을 위한 엔진의 최적운전을 이루는데 있다. 엔진의 최적운전을 위해서는 엔진의 운전이 엔진맵(Engine Map)상의 최적운전곡선(OOL)상에서 이루어져야 한다. Fig.2에 본 연구에서 사용된 엔진맵과 OOL을 표시하였다. 최저연비 운전을 위한 OOL은 BSFC 등고선과 동동력선도에 의해 결정되나 본 연구에서는 간단히 BSFC 등고선을 최단거리로 연결한 선으로 가정하였다. Fig.2에서 보여지듯이 OOL은 동동력선도와 한 점에서 교차하며 필요한 차량동력에 대한 엔진의 운전점은 OOL 상의 한 점으로 결정된다. 본 연구에서는 계산의 편의를 위하여 엔진맵상의 OOL을 임계동력($P_{e,crit}$)을 기준으로 하여 일정 엔진속도로 이루어진 부분(A)과 일차함수로 근사화된 부분(B) 두 영역으로 구성하였다. 임계동력은 차량의 공회전속도에서 연료소비를 최소화하기 위한 운전점에 의해 결정되는 동력으로 계산되었다.

ECU(Engine Control Unit)에서 계산된 엔진

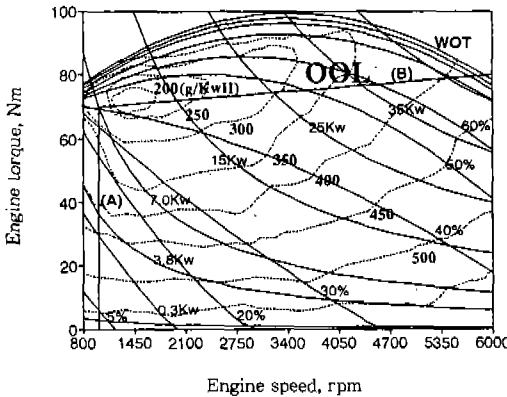


Fig.2 2 Engine Map and OOL

동력($P_{e,crit}$)이 임계동력보다 작은 경우에는 엔진의 운전점이 (A) 선상의 한 점이 되고 임계동력보다 큰 경우에는 (B) 선상의 한 점이 된다. 각각의 경우에 결정되는 최적운전을 위한 엔진속도($\omega_{e,d}$)와 엔진토크($T_{e,d}$)는 다음과 같다.

$$P_{e,crit} < P_e : \omega_{e,d} = \omega_{e, idle}$$

$$T_{e,d} = \frac{60 P_{e,crit}}{2\pi \omega_{e,d}}$$

$$P_{e,crit} \geq P_e : T_{e,d} = \frac{1}{2} \left(b + \sqrt{b^2 + \frac{2aP_{e,crit}60}{\pi}} \right)$$

$$\omega_{e,d} = \frac{T_{e,d} - b}{a} \quad (4)$$

여기서 a 는 운전곡선 (B)의 기울기, b 는 운전곡선 (A)와 (B)의 교차점의 토크이다.

OOL이 결정되면 등드로를 개도선도와 교차하는 유일한 엔진의 운전점이 결정된다. 결정된 최적운전점에서 엔진을 운전시키기 위해서는 엔진의 드로를 개도와 CVT 변속비 제어가 요구된다.

엔진 드로를 개도 제어 : Fig.3에 엔진 드로를 개도 제어에 대한 블록선도가 도시되어 있다. 주행모드로부터 차량속도(V_d)와 차량가속도(\dot{V}_d)가 주어지면 이에 대한 차량동력($P_{v,d}$)을 계산할 수 있고 이것이 동력 제어기의 기준입력이 된다. 제어시스템의 출력은 차량동력학에 의해 결정된 실제 차량속도(V)와 실제 차량가속도(\dot{V})가 되며 이로부터 계산된 실제 차량동력(P_v)이 동력 제어기에 피드백되어 속도 제어가 이루어진다.

차량이 주행시 필요한 차량동력(P_v)은 차량속도(V), 주행저항력(F_L)과 차량가속도(\dot{V})에 의해 결정된다.

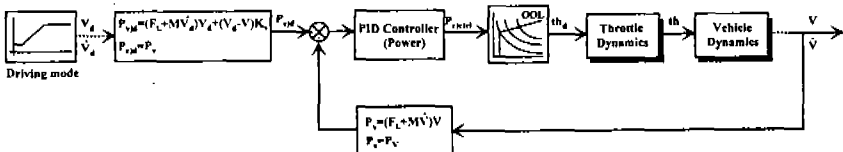


Fig.3 Block Diagram for Engine Throttle Opening Control

$$P_e = (F_L + MV) V \quad (5)$$

해 다음과 같이 구해진다.

엔진동력(P_e)은 필요한 차량동력(P_v)과 동일한 값이 되며 다음 식으로 표시된다.

$$i = \frac{2\pi r \omega_e}{60nV} \quad (8)$$

$$P_e = \frac{2\pi T \omega_e}{60} + (V_d - V) K_v \quad (6)$$

식 (6)에서 우측 두 번째 항은 차속 V_d 의 추종을 원활히 하기 위하여 추가된 속도차이에 대한 보상항으로 K_v 는 속도의 차이를 동력으로 바꾸어주는 제어게인이다.

Fig.4에 각각의 차량속도와 드로틀 개도에 대하여 식(8)로부터 구한 CVT 최적 변속비를 도시하였다. 최적변속비 도출을 위하여 사용된 타이어 반경은 0.273m, 종감속기어비는 5.69이다. Fig.4의 변속비선도는 실제차량의 경우에 TCU (Transmission Control Unit)에 저장되고, 운전시 검출된 차량속도와 드로틀 개도에 대하여 TCU에서 계산된 최적 변속비가 CVT 제어시스템에 공급된다.

Fig.3에서 실제 차량동력과 요구동력의 차이에 의해 동력 제어기에서 결정된 엔진동력($P_{e,ctrl}$)으로부터 엔진의 최적운전을 위한 최적 엔진속도($\omega_{e,d}$)와 최적 엔진토크($T_{e,d}$) 및 엔진의 드로틀 개도(th_d)가 결정된다. 실제 드로틀 개도는 ECU에서 계산된 이상적인 값과 차이가 있을 이을 위하여 드로틀 개도 동역학을 다음과 같이 1차 시스템으로 모델링하였다.

Fig.5에 CVT 변속비 제어 블록선도를 나타내었다. 앞에서 동력 제어기를 통하여 결정된 드로틀 개도(th_d)는 1차시스템으로 고려된 드로틀 시스템의 동특성을 지나 실제 드로틀 개도(th)로 구현된다. 실제 드로틀 개도는 엔진맵상의 OOL과 한 점 즉 엔진의 최적 운전점에서 교차하며 이때 결정된 최적 엔진속도와 차량속도에 의

$$\frac{th}{th_d} = \frac{1}{1 + \tau_{th}s} \quad (7)$$

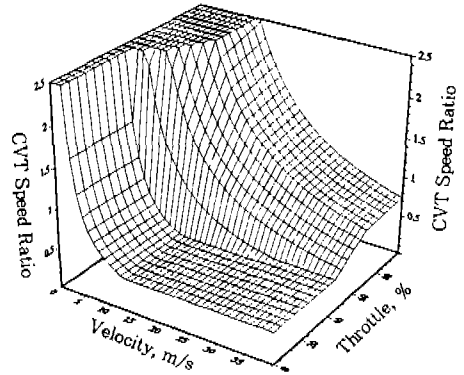


Fig.4 CVT Speed Ratio Map

CVT 변속비 제어 : 앞절에서 주어진 속도에 대하여 요구되는 동력을 만족시키기 위한 엔진 최적운전점이 결정되었다. 이 최적운전점의 엔진 속도와 차량속도를 연결하기 위하여는 CVT 변속비 제어가 필요하다. Fig.3에서 보여지듯이 드로틀 개도가 주어지면 OOL과 드로틀 개도가 교차하는 점에서 엔진의 최적운전을 위한 엔진속도가 결정되며 주어진 차량속도에 대하여 엔진이 이 엔진속도에서 작동하기 위한 변속비도 결정된다. 이때 CVT의 변속비는 엔진속도와 차속에 의

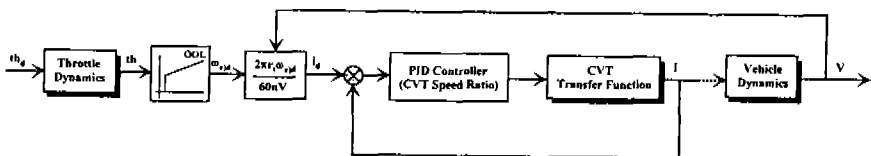


Fig.5 Block Diagram of CVT Speed Ratio Control

해 식(8)로부터 계산된 최적 변속비가 변속비 제어기에 기준입력으로 입력하기 위한 값을 출력시킨다. 실제로 CVT 변속비는 CVT 변속제어 시스템에서 구현되며 따라서 CVT 동특성 즉 CVT 전달함수가 필요하다. 본 연구에서는 CVT 전달함수를 CVT의 동특성 등을 고려하여 1차 시스템으로 가정하였다.

$$G(s) = \frac{1}{1 + \tau_{CVT}s} \quad (9)$$

여기서 τ_{CVT} 는 상수로서 드로틀 개도 및 드로틀 개도 변화율에 따라 달라진다.

Fig.6에 통합제어를 위한 제어 블록선도를 도시하였다. 주행모드에서 주어진 차량속도와 차량 가속도에 의해 계산된 차량동력은 엔진동력으로 변환되어 동력 제어기에 레퍼런스로 입력된다. 실제 차속과 실제 차량가속도로부터 계산된 실제 엔진동력은 동력 제어기에 피드백 되고 동력제어기는 레퍼런스 동력과 실제 엔진동력과의 오차를 제거하기 위한 $P_{e,ctrl}$ 값을 계산한다. 계산된 $P_{e,ctrl}$ 은 ECU에 입력되며 ECU는 OOL, 동동력선도, 등드로틀 개도 선도들로부터 요구되는 엔진동력을 만족시키기 위한 드로틀 개도를 계산하게 된다. 드로틀 동역학으로부터 계산된 실제 드로틀 개도는 TCU에 입력되고, CVT의 레퍼런스 변속비는 TCU의 CVT 변속비선도로부터 계산되어 변속비 제어기에 입력된다. 변속비 제어기는 레퍼런스 변속비와 실제 변속비와의 오차를 제거하기 위한 신호를 출력시킨다. 변속비가 구해지면 실제 차량속도에 대하여 엔진의 실제속도가 결정

된다. 실제 엔진속도와 실제 드로틀 개도가 결정되면 엔진맵으로부터 엔진 토크를 구할 수 있다. 엔진 토크가 결정되면 엔진·차량 동역학으로부터 실제 차속을 구할 수 있고 이 차속은 동력으로 변환되어 동력제어기에 피드백된다.

3. 엔진-CVT 통합제어 시뮬레이션

Fig.7에 본 연구에서 사용한 주행모드를 도시하였다. 주행모드는 4m/s의 정속구간, 가속구간, 9m/s의 정속구간으로 구성되어 있으며 가속구간의 가속도는 2.35m/s²이다. Table 1은 시뮬레이션에 사용된 차량제원이다.

엔진-CVT 통합제어 성능고찰

본 연구에서는 엔진-CVT 통합제어의 성능에 영향을 미치는 인자들 중에서 CVT 변속비 변화율의 영향을 고찰하였다. CVT 성능은 변속비 범위와 변속비 변화율에 의해 결정된다.⁷⁾ 변속비 변화율은 CVT 구동 및 종동축 액츄에이터에 공

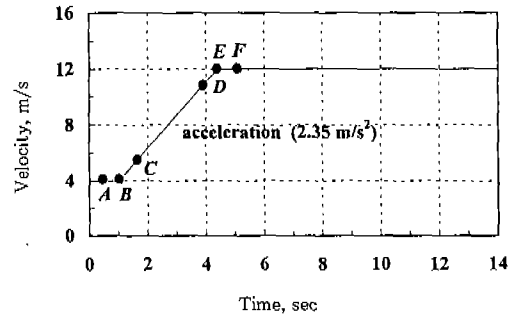


Fig.7 Driving Mode for Simulation

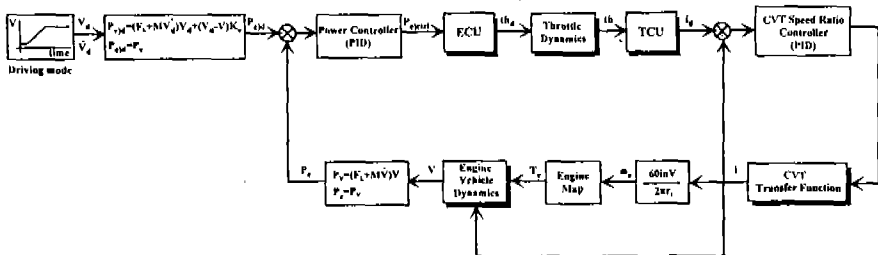


Fig.6 Block Diagram of Engine-CVT Consolidated Control

Table 1 - Vehicle Data

Engine		
Stroke volume	(V_s)	1300cc
Maximum power	(P_e)	50kW
Maximum torque	(T_e)	100Nm
CVT-Final Reduction Gear		
CVT gear ratio range	(i)	0.4~2.5
Final reduction gear ratio	(n)	5.69
Car Body		
Vehicle mass	(M)	1000kg
Tire radius	(r_t)	0.273m
Gradient of road	(δ)	0.0rad

급되는 유량에 의해 결정되므로 유량제어 밸브와 오일펌프에 의해 크게 좌우된다. 따라서 본 연구에서는 CVT 변속비 범위로 상용화된 CVT의 변속비 범위(0.4~2.5)를 사용하고 다음의 변속비 변화율에 대하여 시뮬레이션을 수행하였다: ① $-\infty \leq di/dt \leq \infty$, ② $-2.5 \leq di/dt \leq 2.5$ 동력 제어와 변속비 제어를 위한 제어기로는 PID 제어기를 사용하였으며 제어 게인들은 여러 번의 시행착오를 거쳐 최적화된 값으로 설정하였다.

Fig.8~Fig.9는 변속비 변화율이 $\infty[1/s]$ 인 경우의 시뮬레이션 결과이다. Fig.8(a)는 통합제어에 의한 실제 차속을 주행모드와 비교 도시한 것이다. 시뮬레이션 결과에서 볼 수 있듯이 통합제어에 의한 차속은 주행모드를 잘 추종하고 있다. 정속구간에서 가속구간으로 변하는 부분과 가속구간에서 정속구간으로 변하는 부분에서 실제차속이 주행모드와 약간의 차이를 보이는데 이는 차량의 주행관성 효과로 인한 것으로 이 차이는 곧 동력과 변속비 제어에 의해 없어지고 주행모드와 실제차속은 일치된다.

Fig.8(b)는 차량주행시 통합제어에 의한 엔진의 운전점을 엔진맵상에 도시한 것이다. 수직선과 경사선은 앞서 도출된 엔진의 최적운전을 위한 OOL이며 +표시는 엔진의 실제 운전점을 표시한다. A, B, C, D, E, F는 주행모드에 나와 있듯이 가속직전, 가속시작점, 가속직후, 가속종료직전, 가속종료점, 가속종료직후의 엔진의 운전

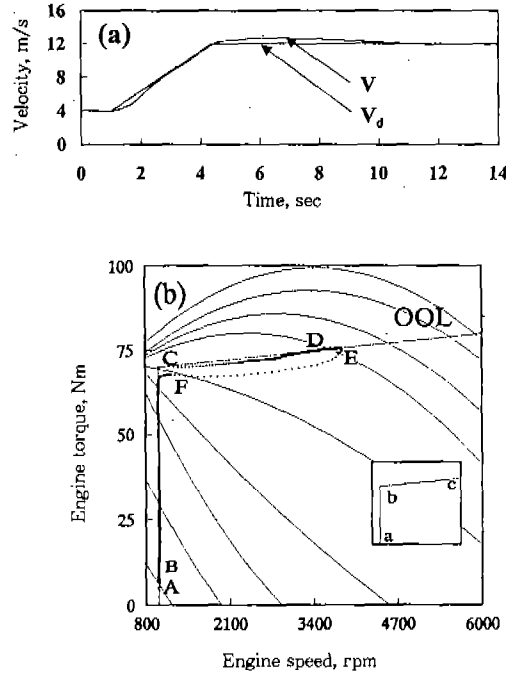


Fig.8 Simulation Result of (a) Velocity and (b) Engine Operation for Driving Mode at $di/dt = \infty[1/s]$

점을 나타낸다. 따라서 엔진운전의 궤적은 A-B-C-D-E-F로 이루어진다. 초기 정속구간에서는 엔진의 운전이 OOL의 a-b 선상에서 이루어지다가 가속구간에서는 요구되는 동력의 증가로 인하여 OOL의 b-c 선상에서 이루어지고 가속이 끝난 후 다시 정속구간에서는 엔진의 운전이 a-b 선상에서 이루어지고 있다. 가속을 종료하고 정속으로 바뀌는 구간에서 엔진의 운전점은 OOL과 떨어져 있는데 이는 가속시 요구되는 동력과 정속시 요구되는 동력의 차이가 크고 이에 대한 토크의 변화가 빨리 이루어지지 않았기 때문이다. 그러나 이 구간에서 엔진의 운전시간은 상대적으로 짧기 때문에 최적운전 성능에 크게 영향을 미치지 못한다고 할 수 있다. Fig.8(b)에서 볼 수 있듯이 각 구간에서의 엔진의 운전은 OOL 선상에서 이루어지고 있으며 따라서 연비 최적화를 위한 통합제어가 이루어졌다고 할 수 있다.

Fig.9은 주행시뮬레이션시 각각의 상태량 들의 시간에 대한 거동을 나타낸 것이다. 그림 상단에

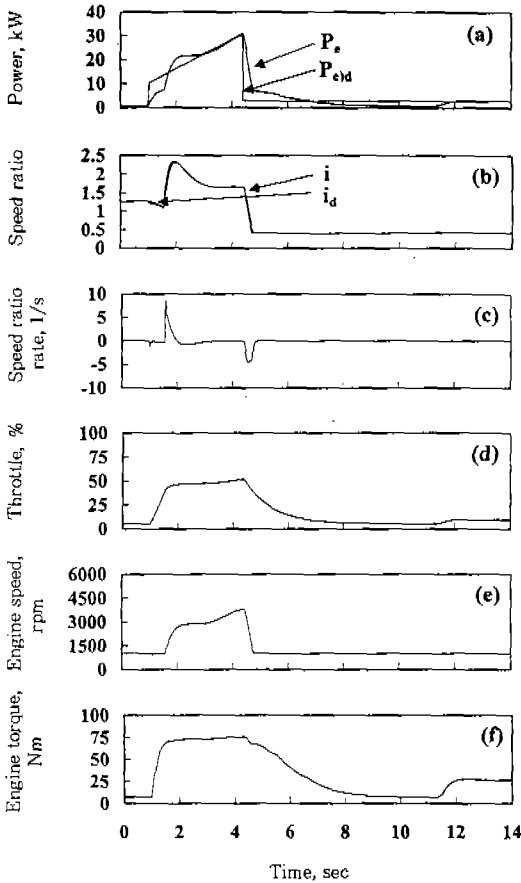


Fig.9 Simulation Results for Driving Mode at $di/dt = \infty [1/s]$

도시된 엔진동력의 변화(a)를 살펴보면 정속구간과 가속구간에서의 엔진동력이 큰 차이를 보이고 있다. 이는 가속시에는 차량주행저항을 이기기 위한 동력뿐만 아니라 차량을 가속시키기 위한 동력이 필요하기 때문이다. 동력제어기에 의한 제어결과를 보면 ECU로부터 정해진 기준동력($P_{e,d}$)과 실제동력(P_e)의 차이가 존재함을 알 수 있다. 이는 동력의 크기제어가 차속추종과 엔진최적운전을 위하여 이루어졌기 때문이다. 변속비의 변화(b)를 보면 정속구간에서 가속구간으로 변화시 가속초기의 차속의 차이를 보정하기 위하여 변속비가 급증하였다가 차속의 오차가 없어진 후에는 일정한 값을 유지하며 전구간에서 실제변속비는 기준변속비를 잘 추종하고 있다.

변속비 변화율(c)은 정속구간에서 가속구간으로 변할 때에는 차속의 추종을 위하여 변속비가 크게 변화하므로 변속비 변화율이 커지고 차속의 추종이 이루어진 후에는 변속비가 일정하게 유지되어 다시 0의 값을 유지하다가 가속이 종료되고 정속구간으로 변화할 때 다음 음(-)의 변화율을 보인다. 따라서 변속비 변화율은 가속도의 크기가 바뀌는 부분에서 크게 영향을 받음을 알 수 있다. (d)에 ECU에서 결정된 드로틀 개도로부터 드로틀을 동역학을 거쳐 계산된 실제 드로틀 개도를 나타내었다. 정속시 차량주행에 필요한 동력을 출력시키기 위하여 일정한 값으로 유지되던 드로틀을 개도는 차속이 증가함에 따라 가속에 필요한 동력을 엔진으로부터 출력시키기 위하여 증가한다. 가속이 완료된 후에는 다시 감소하여 일정한 값을 유지한다. 엔진의 회전속도(e)는 드로틀 개도의 변화에 따라 초기의 정속구간에서는 a-b 전상의 회전수인 1000rpm으로 일정하게 유지되다가 가속구간으로 변화할 때 크게 증가하며 가속이 끝난 후 다시 정상상태에 이르게 된다. 엔진토크(f) 또한 정속구간에서 가속구간으로 변화시와 가속구간에서 정속구간으로 변화시에 큰 변동을 나타내고 있다.

Fig.10은 최대 변속비 변화율 $di/dt = 2.5 [1/s]$ 인 경우의 시뮬레이션 결과이다. 제어계인은 $di/dt = \infty [1/s]$ 경우의 값을 그대로 사용하였다. Fig.10(a)에 보여지듯이 실제차속은 가속초기 부분과 가속완료후 정상상태에 이르는 부분에서 주행모드와 약간 차이를 보이고 있을 뿐 실제차속이 주행모드를 잘 추종하고 있으며 $di/dt = \infty [1/s]$ 인 경우와 유사한 추종성능을 보인다. Fig.10(b)는 엔진의 운전점의 거동을 OOL과 비교 도시한 것이다. di/dt 가 $\infty [1/s]$ 인 경우(Fig.8(b))와 비교해 볼 때 가속초기 부분(B-C)에서 엔진의 운전이 OOL과 떨어진 곳에서 이루어지고 있음을 알 수 있다. 이러한 이유는 Fig.11(b), (c)에서 볼 수 있듯이 정속구간에서 가속구간으로 변하는 부분에서 필요한 변속비 변화율은 $2.5 [1/s]$ 이상의 값을 필요로 하나 최대 변속비 변화율은 $di/dt = 2.5 [1/s]$ 로 제한되어 있으므로 실제 변속비가 엔진의 최적운전을 위해

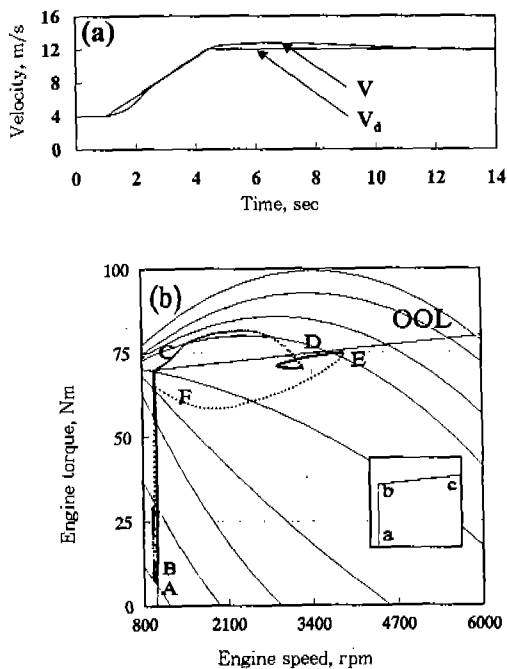


Fig.10 Simulation Result of (a) Velocity and (b) Engine Operation for Driving Mode at $di/dt = 2.5 [1/s]$

결정된 레퍼런스 변속비를 약간 느리게 추종하고 있기 때문이다. 가속구간에서 정속구간으로 변화시의 엔진운전의 거동은 $di/dt = \infty [1/s]$ 인 경우와 거의 동일하게 나타나고 있다. 이밖에 동력, 드로틀 개도, 엔진속도 및 엔진토크의 거동 또한 $di/dt = \infty [1/s]$ 일때와 거의 같은 양상을 보이고 있다.

본 연구에서는 엔진-CVT 통합제어 성능의 정량적인 비교를 위하여 ITAE(Integral of the Time Multiplied by the Absolute Value of the Error)를 오차 판단의 기준으로 설정하였다.

$$ITAE = \int_0^{t_{lim}} \sqrt{(T_{oid} - T)^2 + (\omega_{oid} - \omega)^2} h dt \quad (10)$$

여기서 T_{oid} , ω_{oid} 는 주행모드로부터 정해지는 기준동력에 대해 결정된 엔진최적운전점의 엔진토크와 엔진속도, T , ω 는 실제 엔진토크와 엔진속도이고 h 는 샘플링타임이다.

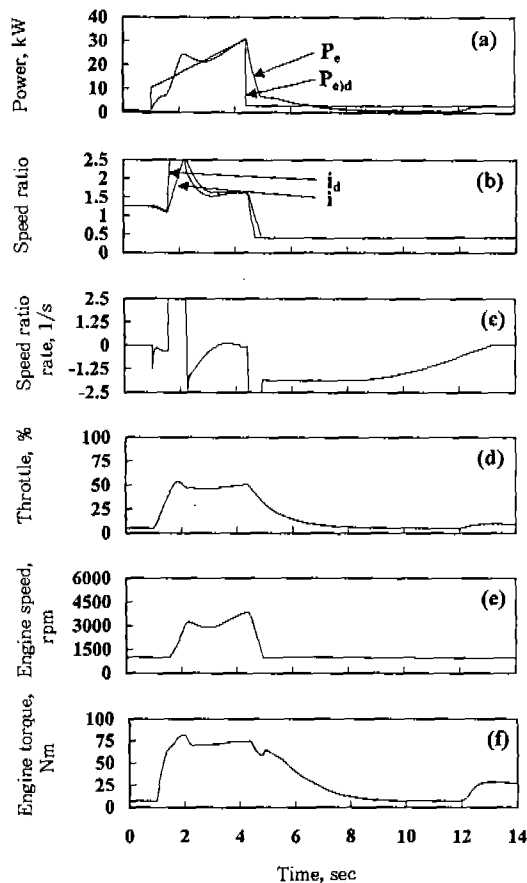


Fig.11 Simulation Results for Driving Mode at $di/dt = 2.5 [1/s]$

Table 2 Error Criterion for Various CVT Ratio Rate

$\frac{di}{dt} [1/s]$	ITAE
∞	1581
2.5	2170

Table 2에 $di/dt = \infty, 2.5 [1/s]$ 일때의 ITAE 값을 나타내었다. Table 2에서 볼 수 있듯이 di/dt 의 한계가 작을수록 최적운전이 잘 이루어지지 않아 ITAE 값이 커지고 있다.

이상의 결과로부터 변속비 변화율 di/dt 가 엔진-CVT 통합제어에 미치는 영향을 살펴보면 최

대 변속비 변화율이 클수록 엔진의 운전은 OOL 상에서 이루어질 수 있다. 특히 변속비 변화율의 크기는 가속도의 값이 크게 변하는 곳에서 차량 성능에 큰 영향을 미치므로 순간적인 급가속, 급정지와 같은 과도상태에서 엔진최적운전을 위해서는 빠른 변속비 변화율을 가지는 시스템의 설계가 필수적이라고 할 수 있다.

CVT 단독제어와의 성능비교

엔진-CVT 통합제어의 성능을 평가하기 위하여 본 연구에서는 CVT 변속비만을 제어한 경우의 제어성능을 검토하고 통합제어에 의한 결과와 비교하였다. 변속비만을 제어하는 경우 CVT 변속비는 엔진최적운전을 위하여 제어되며 차속추종을 위한 드로틀 개도는 운전자에 의해 직접 결정되어야 한다. 운전자가 직접 드로틀 개도를 조작하는 경우 운전자는 단지 속도차이만을 감지하여 이의 보상을 위해 드로틀 개도를 조작하며 결정된 드로틀 개도에 대해 엔진최적운전이 이루어지도록 변속비 제어가 이루어져야 한다. 본 연구에서는 운전자에 의한 드로틀 개도 조작을 ① 운전자 모델(Driver Model)과 ② 조이스틱(Joystick)을 이용한 실시간 시뮬레이션의 2가지 경우로 고려하였다.

Fig.12에 운전자 모델에 의한 드로틀 개도 조작 과정을 나타내었다. 운전자에 의한 드로틀 개도 조작과정은 다음 식으로 표시된다.

$$throttle^{i+1} = throttle^i + \alpha \times V_{error} \quad (11)$$

여기서 i 는 반복계산회수이며 α 는 수정계수(Corrective Factor)이다. 수정계수는 주행모드와 실제차속과의 오차를 최소화하는 값으로 설정하였다.

Fig.13은 운전자 모델에 의한 시뮬레이션 결과이다. Fig.13(a)에서 볼 수 있듯이 차속은 가속이 완료된 후 정속구간에서 주행모드와 많은 차이를 보이고 있으며 정상상태에 도달하기까지 많은 시간이 걸림을 알 수 있다. 엔진의 운전(Fig. 13(b))은 OOL과 상당히 떨어져서 이루어지고 있다. 이는 변속비 제어만으로는 엔진의 최적운전이 어려움을 보여준다.

Fig.14는 조이스틱을 사용한 시뮬레이션 결과

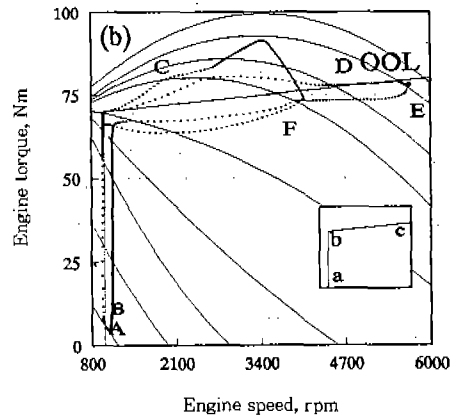
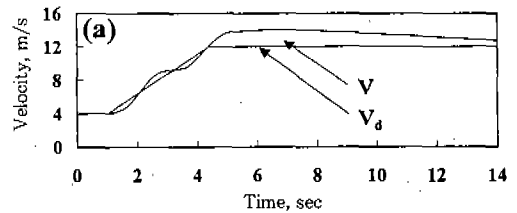


Fig.13 Simulation Result of (a) Velocity and (b) Engine Operation for Driving Mode by Driver Model

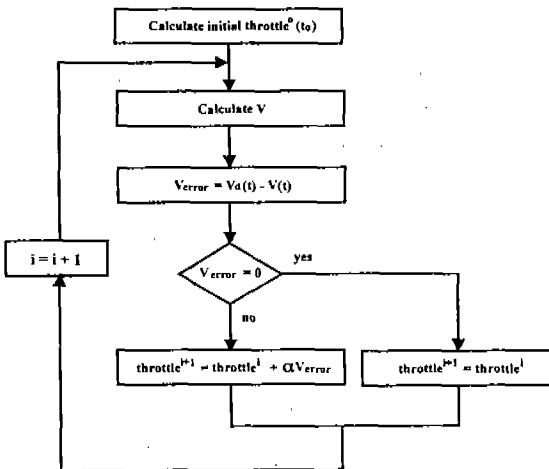


Fig.12 Determination of Throttle Opening by Driver Model

이다. 본 연구를 위해 개발된 시뮬레이션 프로그램은 시뮬레이션을 실시간으로 처리하여 그래픽으로 출력시키며 외부 입력기기(Joystick)를 통해 드로틀 개도를 직접 제어할 수 있다. 따라서 사용자는 화면에 출력된 주행모드와 차속을 눈으로 직접 확인하면서 조이스틱을 이용하여 드로틀 개도를 직접 조작하여 차속을 제어할 수 있다. Fig.14(a)에 도시된 것처럼 가속구간에서 실제차속이 주행모드를 잘 추종하지 못하고 있다. 엔진운전(Fig.14(b)) 또한 OOL과 상당히 떨어진 곳에서 이루어지고 있다.

Table 3은 운전자 모델과 조이스틱을 사용한 경우의 ITAE 값들이다. Table 3에서 볼 수 있

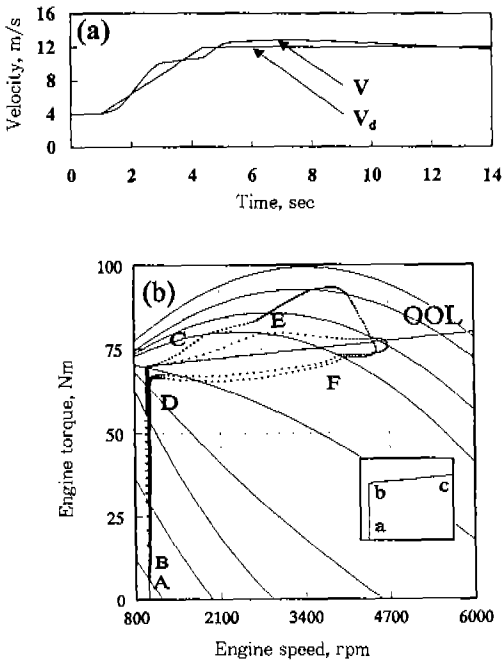


Fig.14 Simulation Result of (a) Velocity and (b) Engine Operation for Driving Mode by Joystick

Table 3 Error Criterion for CVT Only Control

Throttle operation	ITAE
By driver model	7061
By joystick	7323

듯이 ITAE 값들은 앞절에서 제시된 엔진-CVT 통합제어에 의한 결과 보다 큰 값을 나타내며 따라서 엔진최적운전 성능이 상대적으로 떨어짐을 알 수 있다.

위의 결과에서 볼 수 있듯이 CVT 변속비 제어만으로는 운전자가 요구하는 차량속도를 만족시키면서 동시에 엔진 최적 운전을 이루기는 어려우며 따라서 엔진-CVT 통합제어가 필수적임을 알 수 있다.

4. 결 론

- 1) 운전자의 의지와 엔진 최적운전을 만족시키기 위하여 엔진동력차이에 의하여 엔진 드로틀 개도를 제어하고 CVT 변속비 선도에 의하여 변속비를 제어하는 엔진-CVT 통합 제어 알고리즘을 제시하였다.
- 2) CVT 변속동역학을 고려한 CVT 차량모델을 유도하고 통합제어 성능해석을 위한 시뮬레이션 프로그램을 개발하여 엔진-CVT 통합제어 성능을 고찰하였다. 시뮬레이션 결과 CVT 차량에서 CVT 변속비 변화율은 차량성능과 엔진최적운전에 큰 영향을 미치는 요인이며 가속도가 급격히 변화는 과도상태에서 원활한 엔진최적운전을 위해서는 빠른 변속비 변화율을 가진 시스템의 설계가 필수적이다.
- 3) 엔진-CVT 통합제어 성능을 CVT 단독제어 경우와 비교해 보면 CVT 변속비제어만으로는 가속도의 급격한 변화시 최적운전이 어렵고 따라서 더 우수한 엔진최적운전 결과를 위하여는 통합제어가 필수적이다.

후 기

이 연구는 통상산업부와 과학기술처에서 시행한 G7 차세대자동차 기술개발사업의 기술개발 결과입니다.

참 고 문 헌

1. Y. Sakai, "The 'ECVT' Electro Continuously Variable Transmission", SAE 880481, 1988.
2. D. Hahne, "A Continuously Variable Automatic Transmission for Small Front Wheel Drive Cars", c2/84, IMech, 1984.
3. 김현수, 송한림, 김종준, "PWM 슬레노이드 전자제어 리그형 CVT의 변속 제어 특성 연구", 성균관대학교 과학기술연구소, 1995.
4. J. H. Purghart, J. F. Donoghue, "Control of a Hybrid System with Flywheel Energy Storage and Continuously Variable Transmission", NASA Grant No. NSG 3223, 1980.
5. T. Takiyama, S. Morita, "機關·CVT統合制御における制御アルゴリズムの検討", 日本機械學會論文集(B編) 59卷 567號, 1993.
6. T. Takiyama, S. Morita, "機關·CVT統合制御の實驗的解析", 自動車技術會 學術講演會前別集 944, 1994. 1
7. N. Narumi, H. Suzuki, R. Sakakiyama, "Trends of Powertrain Control", SAE 901154, 1990.