

## CVT 및 Brake Force 제어를 통한 차량 주행 안정성 향상

조현욱\*(한양대 대학원 자동차공학과), 이승종(한양대 자동차공학과)

### Improving Vehicle Driving Stability by Controlling CVT and Brake Force

H. W. Cho (Automotive. Eng. Dept. Hanyang Univ.), S. J. Yi(Mechanical Eng. Dept., Hanyang Univ.)

#### ABSTRACT

The mechanics, electronics and manufacturing technology have been developed rapidly. Nowadays vehicle stability becomes more and more important than ABS (Anti-lock Brake System), ASR (Anti-Slip Regulator), TCS, (Traction Control System), ESP (Electronic Stability Program), and VDC (Vehicle Dynamic Control) which actively control the vehicle stability actively has been improved.

In this study, instead of automatic transmission, CVT (Continuously Variable Transmission) is used because of the continuously gear ratio changes. It can effectively transfer the torque from engine to tire more than other gear transmission. The modeling is simplified assuming that there are no resistance parameters.

**Key Words :** Continuously Variable Transmissions (무단변속기), Gear ratio(기어비),

#### 기호 설명

$T_1$  = torque transfer from driving pulley

$T_2$  = torque transfer from driven pulley

$T_{in}$  = torque input from engine

$T_{out}$  = torque output from driven pulley

$J_1$  = inertia of moment of driving pulley

$J_2$  = inertia of moment of driven pulley

$R_1$  = effective radius of driving pulley

$R_2$  = effective radius of driven pulley

$W_1$  = speed of driving pulley

$W_2$  = speed of driven pulley

$\mu_r$  = real road coefficient of friction

$\hat{\mu}_r$  = estimated road coefficient of friction

$f_f$  = tractive force on front tire

$f_{nf}$  = vertical force on front tire

$f_{nr}$  = vertical force on rear tire

$m$  = weight on 1/4 vehicle

$\epsilon$  = power efficiency

$s$  = slip ratio

$r$  = radius of tire

$w$  = angular velocity of tire

$v$  = velocity of vehicle

#### 1. 서론

차량의 성능 향상과 더불어서, 차량의 주행 안정성에 대한 개발도 함께 진행되어왔다. 현재 차량에 적용되어 지고 있는 기술들인, ABS (Anti-lock Brake System), TCS (Traction Control System), ESP (Electronic Stability Program) 등은 대부분 진보된 제어 로직을 사용하여 제어시스템을 구성하고 있다.

Drakunov S 외 2 인[1]은 요 레이트(yaw rate)를 슬라이딩모드제어(sliding mode control)를 통해서 안정성 향상을 이루었고, 정훈상 외 2 명[2]은 구동력 제어기(TCS controller) 설계를 통해서 향상을 시도하였으며, Matsumoto S. 외 3 명[3]은 감쇠력(braking force) 분산을 조정하여 안정성을 향상시켰다.

본 연구에서는 차량 엔진에서 발생하는 토크는 변속기를 통하여 타이어에 전달되어지므로 변속기를 제어하여 차량 구동력을 제어하고자 했으며, 변속기 중에서도 수동변속기는 운전자의 의도에 의해서만 변속되고, 자동변속기는 기어비가 정해져 있기 때문에 변속 영역에 한계가 있다는 이유로 인해서 자동변속기보다는 보다 변속비가 자유로운 무단변속기(CVT, Continuously Variable Transmissions)에 적용하여, 무단변속기의 구동풀리(driving pulley)와 피동풀리(driven pulley)의 구동반지름의 변경을 통해

서 전달되어 지는 토크의 크기를 제어하여, 차량의 안정성 향상을 시도해 보았다. 응답성을 빠르게 하기 위해서는 엔진자체의 출력과 브레이크를 함께 제어하지만, 본 연구에서는 엔진은 제어를 하지 않고 브레이크를 제어함으로써 보다 제어응답성을 높이고자 하였다.

## 2. 모델링

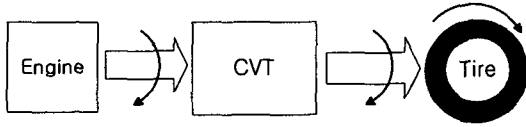


Fig 1. Simplified vehicle model

차량 모델을 간략화 하여서 엔진에서 무단변속기로, 무단변속기에서 바로 타이어로 토크를 전달하는 것으로 가정하였다. 무단변속기는 금속체인벨트를 사용하며 벨트(belt)와 풀리(pulley) 사이의 마찰력으로 토크가 전달되며, 무단변속기의 동력전달 효율은 0.93 ~ 0.97 이다.

### 2.1 무단변속기 모델링

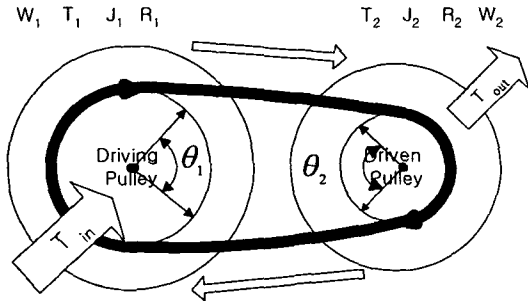


Fig 2. Schematic diagram of CVT

Fig 2 에서 보듯이 엔진에서 발생하는 입력토크  $T_{in}$  은 구동풀리(driving pulley)축에 입력되고, 피동풀리(driven pulley)축에 의해서 출력 토크  $T_{out}$  는 타이어로 전달되고,  $\theta_1$  은 구동풀리(driving pulley)의 이동각,  $\theta_2$  는 피구동 풀리(driven pulley)의 이동각을 나타낸다.

$$J_1 \ddot{\theta}_1 = T_{in} - T_1 \quad (1)$$

$$J_2 \ddot{\theta}_2 = T_2 - T_{out} \quad (2)$$

$$\text{Gear ratio} : y_g = \frac{R_2}{R_1} \quad (3)$$

$$\text{Speed ratio} : y = \frac{W_1}{W_2} \quad (4)$$

$$T_2 = y_g \cdot T_1 \quad (5)$$

$$y_g = \varepsilon \cdot y \quad (6)$$

$$x_1 = \theta_2 \quad (7)$$

$$x_2 = \dot{\theta}_2 \quad (8)$$

$$\dot{x}_1 = x_2 \quad (9)$$

$$x_2 = \ddot{\theta}_2 \quad (10)$$

$$= -\frac{y_g \cdot \dot{y}}{I} \cdot x_2 + \frac{y_g}{I} \cdot T_{in} - \frac{1}{I} \cdot T_{out}$$

여기서  $I = J_2 + y_g \cdot y J_1$

$$\varepsilon = \frac{T_2 \dot{\theta}_2}{T_1 \dot{\theta}_1} = \frac{y_g}{y} \quad (11)$$

### 2.2 마찰계수 $\mu$ 추정

마찰계수의 예측을 위해서 FF (Front engine Front drive) 형식 차량의 1/2 차량 모델을 사용하였다.

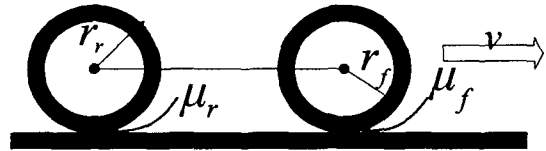


Fig 3. 1/2 Vehicle model

차량이 진행해 나갈 때 앞쪽타이어에서 발생되어지는 진행력은 엔진에서 출력되어 나오는 토크를

지면에 전달하게 되는데 이 진행력은 실제 도로의 표면마찰계수의 영향을 받아 실제 차량의 진행력을 발생시키게 된다. 실제 차량을 진행시키는 힘은 차량을 진행시키게 되며, 이러한 현상을 이용하여 뒤쪽타이어에서 표면마찰계수를 예측하여 볼수 있다. 구름저항, 공기저항 등 저항요소의 영향은 무시했다.

$$f_f = \mu_f \cdot f_{nr} = m \dot{v} \quad (11)$$

$$\mu_r = \frac{m \dot{v}}{f_{nr}} \quad (12)$$

$$s = \frac{rw - v}{v}, v > rw \quad : \text{감속시} \quad (13)$$

$$s = \frac{rw - v}{rw}, v < rw \quad : \text{가속시} \quad (14)$$

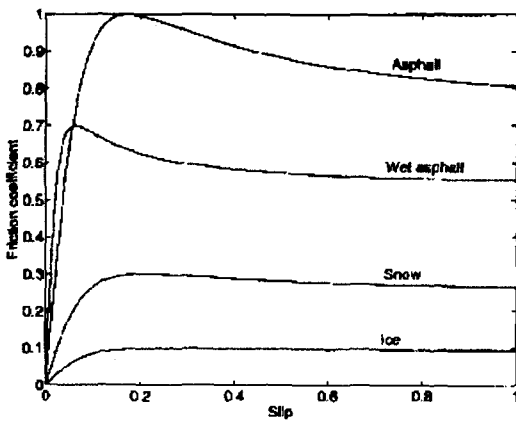


Fig 4. Schematic plots of  $\mu$  -  $s$  curves

### 3. 시뮬레이션

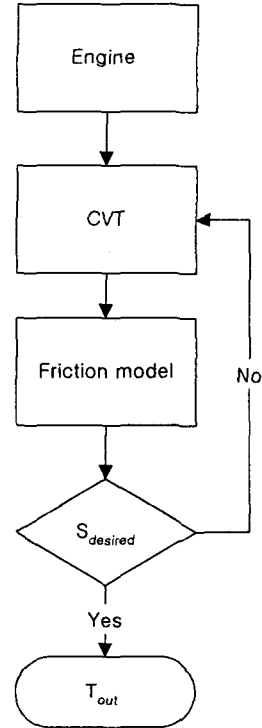


Fig 5. Simulation process

엔진에서 무단변속기를 통해 출력되는 토크  $T_{out}$  차량의 속도를 발생시키게 되는데 가속과 감속의 경우는 차량의 속도와 타이어의 속도차가 발생하기 때문에 슬립율 (slip ratio)가 감속시는 식(13), 가속시는 식(14)처럼 나타나게 된다. 이때 마찰계수와 슬립율과의 관계 그래프에서, 노면상태 변화에 따라 마찰계수가 최대가 되게 하는 슬립율이 있으므로, 무단변속기의 구동풀리(driving pulley)와 피동풀리(driven pulley)의 반경을 제어하여 원하는 슬립율 (slip ratio)을 Fig 4 에서 보이듯이 각 도로 상황에 따라 변화된 값을 얻을수 있다.

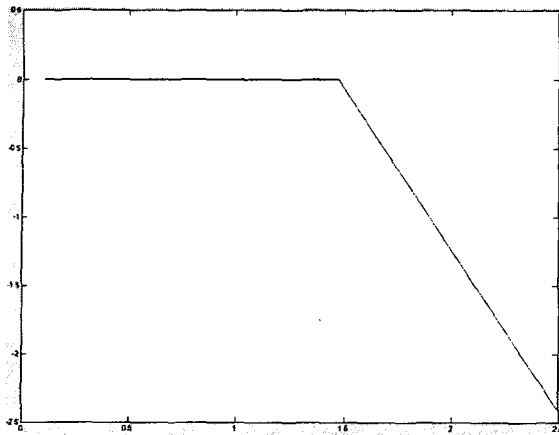


Fig 6. Plot of gear ratio - change of torque

#### 4. 결론 및 고찰

시뮬레이션 결과 처음 기어비의 변화에서는 일정한 데이터 값을 갖지 못하고 분포된 값을 보여주고 있다.

무단변속기, 차량의 동력전달체계를 간략화, 선형화 시켜서 모델링을 하고 제어를 하였다. 선형화에 따른 제어와, 저항요소들을 고려하지 않고 계산을 하였기 때문에 비교적 오차 발생이 적어지는 상황의 무단변속기의 성능을 이용하여 차량의 주행성을 향상 시켜 볼수 있었다. 하지만 실제로 무단변속기의 기어비를 변속시키는 유압제어의 비선형성을 고려 하여 다시 모델링하여 선형 모델링의 정확도를 확인해 봐야 한다.

#### 참고문헌

1. Drakunov S., Ashrafi B., and Rosigioni A., "Yaw Algorithm via Sliding Mode Control," Proceedings of the American Control Conference pp. 580-583, June 2000
2. Jung H., Kwak B., and Park Y., "IMPROVED DIRECTIONAL STABILITY IN TRACTION CONTROL SYSTEM," Proceedings of AVEC 2000 5<sup>th</sup> Int'l Symposium on Advanced Vehicle Control August 22-24 2000
3. Matsumoto S., Yamaguchi H., Inoue H., and Yasuno Y., "Improvement of Vehicle Dynamics Through Braking Force Distribution Control," SAE Paper No.920645 pp 868-876
4. Foley D.C., Sadegh N., Barth E.J., and Vachtseanos G. J., "Model Identificaion and Backstepping Control of a Continuously Varialbe Transmission System." Proceedings of he American Control Conference pp

4591 - 4596, June 23-27, 2001

5. Tsiotras P., and Canudas de wit C., " On the Optimal Braking og Wheeled Vehicle," Proceedings of the American Control Conference pp 569 - 573, June 2000