

학습 알고리즘을 이용한 자동변속기의 변속제어기 설계

전 윤 식* · 장 호 환**

(1997년 8월 11일 접수)

Design of Shift Controller Using Learning Algorithm in Automatic Transmission

Yoon Sik Jun and Hyo Whan Chang

Key Words : Shift Quality(변속품질), Shift-Transient Torque(변속과도토크), Upshift(상향 변속), Turbine Speed(터빈속도), Fuzzy Control(퍼지제어), Learning Algorithm(학습 알고리즘), Torque Converter(토크컨버터)

Abstract

Most of feedback shift controllers developed in the past have fixed control parameters tuned by experts using a trial and error method. Therefore, those controllers cannot satisfy the best control performance under various driving conditions. To improve the shift quality under various driving conditions, a new self-organizing controller(SOC) that has an optimal control performance through self-learning of driving conditions and driver's pattern is designed in this study. The proposed SOC algorithm for the shift controller uses simple descent method and has less calculation time than complex fuzzy relation, thus makes real-time control possible. PCSV (Pressure Control Solenoid Valve) control current is used as a control input, and turbine speed of the torque converter is used indirectly to monitor the transient torque as a feedback signal, which is more convenient to use and economic than the torque signal measured directly by a torque sensor. The results of computer simulations show that an apparent reduction of shift-transient torque is obtained through the process of each run without initial fuzzy rules and a good control performance in the shift-transient torque is also obtained.

1. 서 론

자동변속기는 클러치 유압제어 시스템, 동력전달계 및 전자제어장치로 구성되어 있으며, 유압제어 시스템의 발생 유압에 의하여 클러치 및 브레이크를 분리, 접속시킴으로써 변속을 수행한다. 이러한 변속으로 인하여 차량관성의 급격한 변화가 발생되며, 차량 출력토크의 변화를 초래하여 운전자에게

는 변속충격으로 느끼게 만든다. 따라서, 클러치 유압제어 시스템에 의하여 변속시의 클러치 및 브레이크를 분리, 접속시키는 압력을 적절히 제어함으로써 변속품질을 향상시킬 수 있다.

변속시 발생하는 차량 출력토크의 급격한 변화는 유성차체를 거쳐 토크컨버터의 터빈속도를 급격히 변화시키며, 터빈속도의 변화율을 계측하여 간편하게 과도토크의 예측이 가능하게 된다.^(1~4) 이러한 터빈속도의 피드백신호를 이용하여 변속과도 토크를 제어하는 기존의 클러치 압력제어기는 클러치 유압시스템 해석의 난해함으로 인하여 대부분이

*삼성자동차(주) 중앙연구소

**회원, 고려대학교 기계공학과

경험적 방법에 의하여 제어 파라미터를 설정하고 있으며, 제어 파라미터가 고정되어 있어서 차량의 노후화, 운전조건변동의 변동 등에 대하여 만족 할 만한 한 제어성능을 기대하기 어렵다. 따라서, 본 연구에서는 클러치 압력제어 알고리즘으로 자기구성 제어기(Self-Organizing Controller ; SOC)를 제안하여 초기 제어규칙의 설정없이도 우수한 학습능력을 갖게 하였으며, 차량의 운전조건 및 운전자의 운전습관에 스스로 학습하여 항상 적정의 제어성능을 발휘할 수 있게 하였다. 이러한 자기구성제어기는 일종의 학습능력을 갖는 퍼지제어기로서 Procyk 과 Mamdani⁽⁵⁾에 의하여 처음으로 제안되었다.

퍼지논리 제어기(Fuzzy Logic Controller ; FLC)에서 가장 중요한 요소인 제어규칙은 일반적으로 제어대상 프로세서에 대한 전문가의 직관과 경험에 의해 습득되고 있으나, 전문가로부터의 제어규칙 습득이 항상 가능한 것은 아니며, 제어규칙이 습득되었다 하더라도 완전한 제어규칙의 습득은 매우 어렵다. 따라서, 본 연구에서는 Procyk과 Mamdani에 의하여 제안된 성능평가 규칙표⁽⁵⁾를 이용하고 Wang^(6,7)이 연속치 계통의 단순 퍼지제어기에 적용한 경사(descent)방법을 사용하여 실시간 연산과 제어규칙의 자기학습이 가능한 새로운 알고리즘을 제안하였다.

제안된 제어기의 제어성능을 분석하기 위하여, 피

드백신호로서 토크컨버터의 터빈속도와 제어입력신호로서 압력제어전자밸브(Pressure Control Solenoid Valve ; PCSV)의 입력전류를 사용하였으며, 자동변속기의 변속모델을 이용하여 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하였다.

본 연구의 결과로 제안된 자기학습 알고리즘을 이용한 변속제어기는 초기 퍼지 제어규칙을 설정하지 않았으나 배회 시행마다 학습이 진행되어 변속과도토크가 현저히 감소하였으며, 우수한 변속과도토크 제어성능을 보여 주었다.

2. 시스템 모델링

2.1 제어기 구조

자동변속기의 제어시스템은 Fig.1에 나타난 바와 같이 크게 구분하여 토크컨버터, 작동기구(클러치, 브레이크), 유성치차장치, 유압제어 시스템 및 전자제어장치(Transmission Control Unit ; TCU)로 구성되어 있으며, TCU의 제어조직에 의하여 변속을 자동화하여 운전자의 운전조작과 운전피로를 경감시키고 있다. 또한, TCU에는 여러 가지 변속상황에 대한 변속제어 알고리즘이 들어가 있다. 본 연구에서 제안한 변속과도토크 제어기의 전체 구조는 Fig.2와 같으며 그림에서 보는 바와 같이 차량속도와 드로틀개도 상태에 따라 변속 판단 프로그램에 의하여 변속단이 결정되고 이에 따라

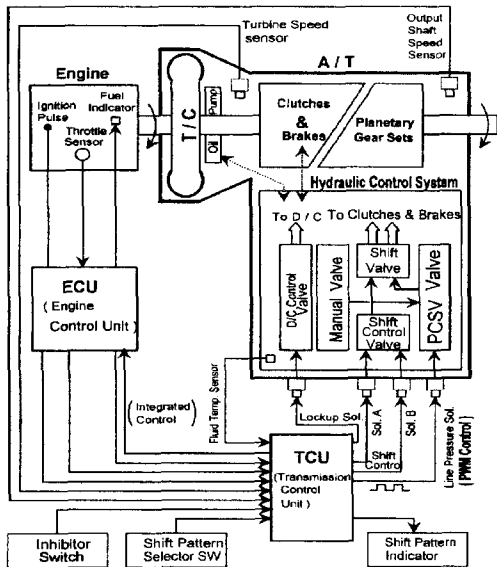


Fig. 1 Configuration of control system in an automatic transmission.

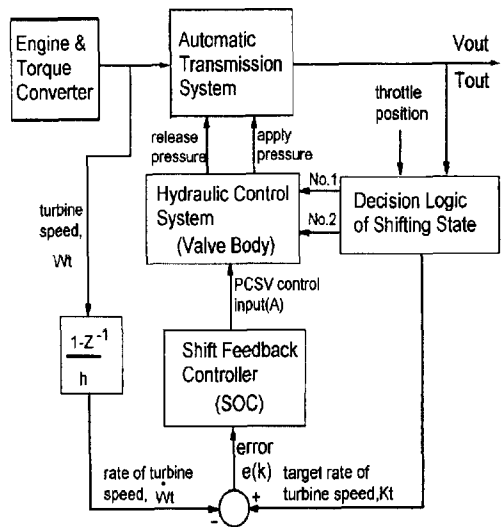


Fig. 2 Structure of SOC in an automatic transmission.

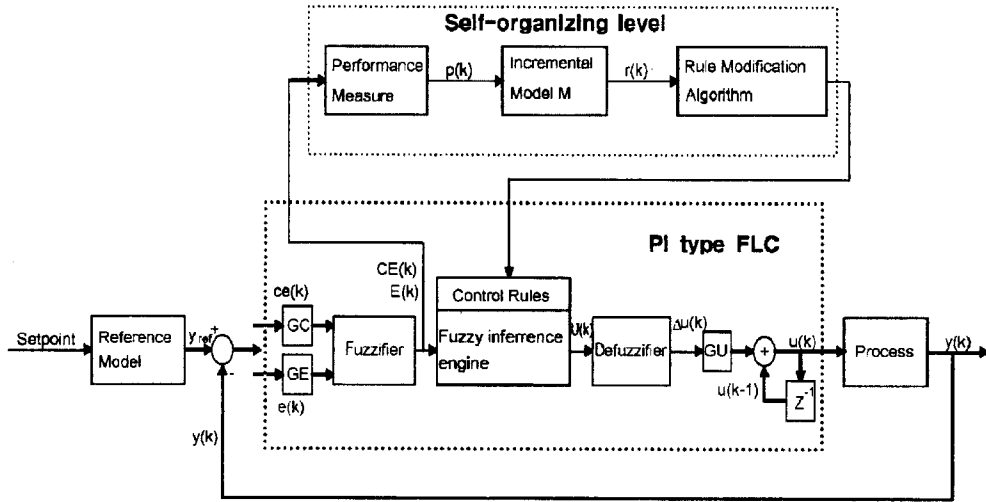


Fig. 3 Block diagram of the self-organizing controller.

밸브바디내의 No. 1, No. 2 슬레노이드밸브를 통하여 변속신호가 발생되며, 피드백제어를 위한 목표터빈속도 변화율을 설정하게 된다. 이러한 목표터빈속도 변화율은 피드백 터빈속도의 변화율과 비교되어 제어를 위한 오차신호를 발생시키며, 변속제어기에 의하여 변속과도토크 해소를 위한 PCSV 제어입력을 발생시킨다. PCSV 제어입력은 클러치 유압제어 시스템의 동적 모델링을 거쳐 변속을 위한 클러치 및 브레이크의 분리, 접촉요소에 작용하는 제어압력을 발생시키며, 동력전달계의 클러치 및 브레이크에 토크를 전달시킨다. 이와 같이 제어된 압력에 의하여 엔진을 포함한 전체 동력전달계의 동적 모델은 터빈속도 변화율의 목표치를 추종하게 되고, 결과적으로 변속시 발생하는 과도토크를 감소시키게 된다.

자기구성 제어기의 세부 구조는 Fig. 3과 같이 자기구성 알고리즘과 PI형의 단순 퍼지제어기로 되어 있으며, (8,9) 자기구성 부분의 알고리즘에 의하여 퍼지 제어규칙의 학습이 진행된다.

2.2 성능평가

성능평가(performance measure)는 출력편차 $E(k)$ 와 출력편차 변화량 $CE(k)$ 를 관측하고 프로세스에 대한 제어기의 성능을 평가하여, 성능 개선을 위하여 요구되는 프로세스 출력 보정량 $p(k)$ 를 발생시키는 과정을 말하며, $e(k)$, $ce(k)$, $p(k)$ 를 양자화(quantization)하여 구성된 성능평가표(performance table)에 의하여 발생된다. 본 연구에서

Table 1 Performance table of SOC.

		Change in error												
		-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	+4	+5	+6
Error	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	0	0	0	0	0	0
	-5	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-3	-2	-2	0	0	0
	-4	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-4	-5	-4	-2	0	0	0
	-3	-6	-5	-5	-4	-4	-4	-4	-3	-2	-2	0	0	0
	-2	-6	-5	-4	-3	-2	-2	-2	0	0	0	0	0	0
	-1	-5	-4	-3	-2	-1	-1	-1	0	0	0	0	0	0
	0	-4	-3	-2	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	+0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	3	4
	+1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	2	3	4	5
	+2	0	0	0	0	0	0	2	2	2	3	4	5	6
	+3	0	0	0	2	2	3	4	4	4	4	5	5	6
	+4	0	0	0	2	4	5	4	6	6	6	6	6	6
	+5	0	0	0	2	2	3	6	6	6	6	6	6	6
+6	0	0	0	0	0	0	6	6	6	6	6	6	6	

는 Procyk과 Mamdani(5)에 의하여 고안된 Table 1의 성능평가표를 사용하였다.

성능평가표는 $e(k)$, $ce(k)$ 로부터 현재의 프로세스 출력이 출력 설정치에 접근하는지를 판단하여 프로세스 출력이 원하는 설정치로 접근할 경우에 출력보정량을 "0"으로 발생시키며, 반대로 설정치와 멀어지거나 오차가 클 경우에 소정의 값 $p(k)$ 를 발생시켜 원하는 응답에 접근하도록 고안되어 있다. 이러한 성능평가표는 설정치를 추종하는 제

어의 경우에 특정 프로세스에 국한되지 않고 사용될 수 있는 일반적인 것이다.

2.3 규칙개정 알고리즘

경사 (descent) 방법은 바람직한 출력과 추론한 출력력을 최소화시키는 방향으로 어떤 값을 개정시키는 것이다. 따라서, 주어진 입출력 데이터($e(k)$, $ce(k)$, $\Delta u^*(k)$), $e(k) \in E$, $ce(k) \in CE$, $\Delta u^* \in U$ 에 대하여 퍼지논리 제어기 개정 파라미터인 후건부 변수 u_i 은 다음과 같은 식을 최소화하도록 개정되어 진다.

$$e_u(k) = \frac{1}{2} (\Delta u^*(k) - \Delta u(k-d))^2 \quad (1)$$

여기서, $k(=0, 1, 2, 3, \dots, d)$ 는 프로세스 지연 (delay)을 나타낸다.

따라서, 후건부 변수 u_i 은 다음과 같이 표현된다.

$$u_i(k+1) = u_i(k) - \alpha \frac{\partial e_u(k)}{\partial u_i} \quad (2)$$

여기서, $i=1, 2, \dots, N$, $N=m \times n$, α 는 학습률 (learning rate)을 각각 나타낸다.

체인 룰(chain rule)에 의하여

$$\begin{aligned} \frac{\partial e_u(k)}{\partial u_i} &= -(\Delta u^* - \Delta u(k-d)) \frac{\partial \Delta u(k-d)}{\partial a} \frac{\partial a}{\partial u_i} \\ &= -r(k) \frac{z_i}{b} \Big|_{k-d} \\ &= -r(k) \xi_i(k-d) \end{aligned} \quad (3)$$

$$a = \sum_{i=1}^N (u_i z_i(k-d)) \quad (4)$$

$$b = \sum_{i=1}^N z_i(k-d) \quad (5)$$

$$z_i(k-d) = \min(\mu_{E_i}(e(k-d)), \mu_{CE_i}(ce(k-d))) \quad (6)$$

$$\xi_i(k-d) = \frac{z_i}{b} \Big|_{k-d} \quad (7)$$

여기서, $r(k) = \Delta u^* - \Delta u(k-d)$ 이며, 증분모델로부터의 입력 보정량이다.

그러므로, 규칙개정 알고리즘(rule modification algorithm)은 다음과 같이 주어진다.

$$u_i(k+1) = u_i(k) + \alpha r(k) \xi_i(k-d) \quad (8)$$

또한, $r(k) = M^{-1}p(k)$ 이므로

$$u_i(k+1) = u_i(k) + \alpha' p(k) \xi_i(k-d) \quad (9)$$

여기서, $\alpha' = \alpha M^{-1}$, $p(k)$ 는 성능평가표의 출력 값을 나타낸다.

그리고 Δu 는 단순 퍼지추론인 경우 일반적으로 많이 쓰이는 무게중심법을 사용하여 다음과 같이 단순화되어 표현될 수 있다.

$$\Delta u = \frac{\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n \min(\mu_{E_i}(e), \mu_{CE_i}(ce)) \cdot u_{ij}}{\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n \min(\mu_{E_i}(e), \mu_{CE_i}(ce))} \quad (10)$$

여기서, u_{ij} 는 ij 번째 규칙의 후건부 실수 값, i 는 오차에 대한 언어적 변수의 개수, j 는 오차의 변화량에 대한 언어적 변수의 개수, $m \times n$ 는 추론 규칙의 개수를 각각 나타낸다.

이러한 단순 퍼지추론인 경우 퍼지논리 제어기는 Fig. 4와 같이 신경망회로와 비슷한 피드포워드(feed forward) 네트워크로 표현가능하며, 이러한 구조일 경우 학습 알고리즘으로 경사(descent)방법이 가능하다는 데에 착안하여 계산량을 줄이고 학습능력이 우수한 규칙개정 알고리즘을 제안하였으며, 후건부만을 개정시킴으로써 규칙개정 연산을 단순화하였다.

일반적으로 증분모델 M은 SISO(Single Input Single Output)인 경우 상수 값으로 취급하며 여기에 기인한 부정확성은 학습 알고리즘에 의하여 극복된다. 또한, 퍼지추론을 위하여 사용된 귀속함수

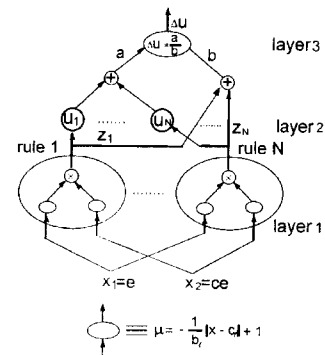


Fig. 4 Network representation of fuzzy logic systems.

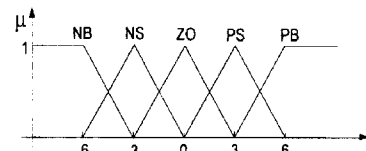


Fig. 5 The form of membership function in input variables(E, CE).

(membership function)는 연산을 단순화하기 위하여 성능에 있어서 범종형과 별 차이가 없는 Fig. 5와 같은 삼각형의 귀속함수를 사용하였다.

위와 같은 자기구성 제어기에서는 제어규칙의 증가에 따른 연산시간의 증가는 거의 무시할 정도이며, 매 샘플링마다 4개의 제어규칙이 학습되어진다. 퍼지 제어규칙이 16개인 경우, 제어규칙 학습을 위해 곱셈 10개, 나눗셈 1개, 덧셈 4개가 연산되어지고, 퍼지제어를 위해 곱셈 8개, 나눗셈 1개, 덧셈 6개가 연산되어진다. 그 외 레지스터 변수의 덧셈과 조건연산이 있으나 연산시간에 크게 영향을 주지 않는다. 따라서, 총 곱셈 18개, 나눗셈 2개, 덧셈 10개의 연산으로 실시간 연산이 가능하며, 실제 적용시 정수연산에 의하여 연산시간을 더욱 줄일 수 있다.

2.4 목표 터빈속도 변화율

자동변속기 차량의 변속시 발생하는 변속과도토크는 토크컨버터의 터빈속도를 감소시키며 변속과도토크의 크기에 따라 터빈속도의 감소율이 달라지게 된다. 따라서, 변속과도토크 제어를 위한 과도토크의 간접적인 측정으로 토크컨버터의 터빈속도 변화율을 이용할 수 있다. Fig. 6은 제안된 제어기의 피드백신호인 터빈속도신호와 비교하기 위한 목표 터빈속도를 나타낸 그림이다. 터빈속도의 속도변화율은 일반적으로 변속 초기에는 완만하다가 변속완료 시점에서 급격히 감소하면서 과도한 토크변화율, 즉 차량가속도의 변화율(jerk)을 크게 발생시킨다. 이러한 차량가속도의 변화율을 감소시키기 위하여 변속완료 시점에서의 과도토크의 변화율을 억제해야 한다. 이와 같은 조건을 만족하기 위하여 그림에서 보는 바와 같이 전체 속도변화율

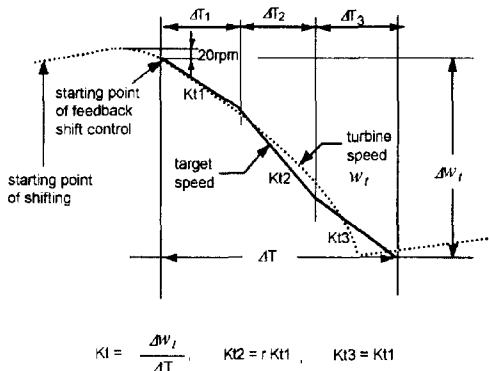


Fig. 6 Target rate of turbine speed at upshift.

을 K_t 로 하고, 전체 변속제어시간(ΔT)을 3등분하여 각각의 구간에서의 속도변화율과 변속시간을 각각 K_{t1} , K_{t2} , K_{t3} 및 ΔT_1 , ΔT_2 , ΔT_3 로 놓았으며, 첫번째 구간과 세번째 구간의 속도변화율은 같게 놓아 ($K_{t1}=K_{t3}$) 단순화하였다. 또한 기준이 되는 목표 터빈속도 변화율 설정치로서 K_{t2} 은 K_{t1} 의 1.3배(즉, $r=1.3$)로 하였다.

3. 결과 및 고찰

시뮬레이션을 위한 프로그램은 클러치 유압제어 시스템의 동적 모델, 변속기 동력전달계의 동적 모델 및 자기구성 제어기의 3개 모듈로 이루어져 있으며, 클러치 유압시스템 및 동력전달계에 대한 동적 모델은 기존의 선행 연구결과를 이용하였다.⁽¹⁰⁾ 제어기의 샘플링시간은 10 msec로 정하였으며, 제어기의 환산계수(scale factor) GE , GC , GU 및 퍼지 제어규칙의 규칙개정 속도도를 나타내는 α M^{-1} 의 값은 각 변속단에서 $GE=0.05$, $GC=0.1$, $GU=0.03$, $\alpha M^{-1}=0.5 \times 0.8$ 으로 정하였다.

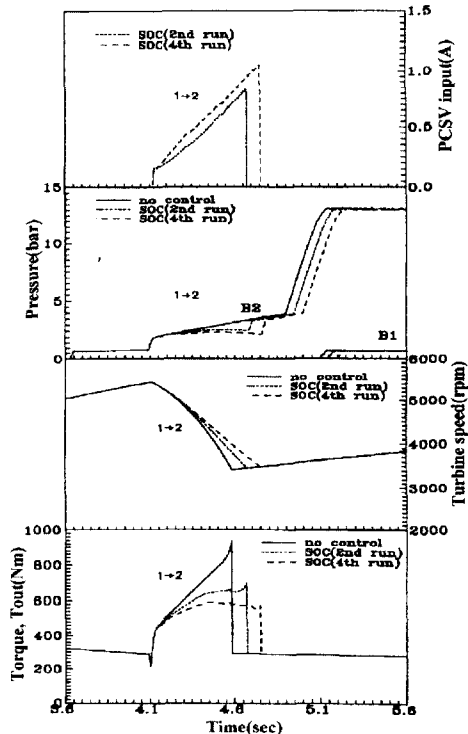


Fig. 7 Transient responses of a vehicle with number of runs at 1 → 2 shift ($K_t = 300$, $u_0 = 0.15$ A).

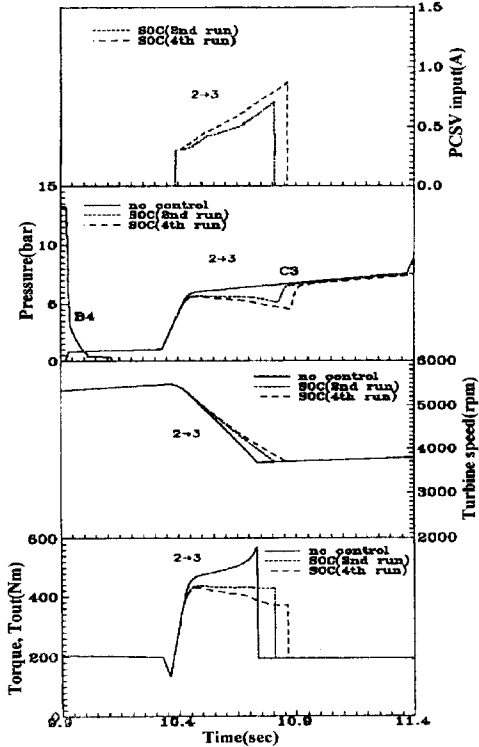


Fig. 8 Transient responses of a vehicle with number of runs at 2 to 3 shift ($K_t = -400$, $u_0 = 0.3$ A).

3.1 자기구성 제어기의 제어규칙 학습특성

Figs. 7, 8은 각각 1 to 2단, 2 to 3단 상향변속시의 제어 시행횟수에 따른 자기구성 제어기의 학습능력을 평가하기 위한 그림이며, 변속제어시의 중요한 요소인 제어입력, 제어압력, 터빈속도 및 변속과도토크를 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 제어 시행횟수가 증가함에 따라 제어규칙에 전혀 주어지지 않았음에도 불구하고 학습이 진행되어 4회내지 5회안에 학습이 거의 완료하였으며, 제어하지 않았을 경우와 비교하여 학습이 완료된 후 현저한 과도토크 감소를 보여주었다. 그러나 그림에서 보는 바와 같이 과도토크가 감소함에 따라 변속 제어 시간이 길어지게 되면 클러치의 내구 수명을 단축하게 되므로, 제한된 변속시간 내에서 과도토크의 최소값을 얻도록 하는 목표 터빈속도 변화율을 설정하였다.

Fig. 9는 2 to 3단 변속시 터빈속도 변화율 K_t 를 각각 -400 , -450 으로 설정하였을 때의 제어기의 목표추종 성능을 나타낸 그림이며, 유압시스템의 비선형 특성에도 불구하고 터빈속도가 목표 터빈속

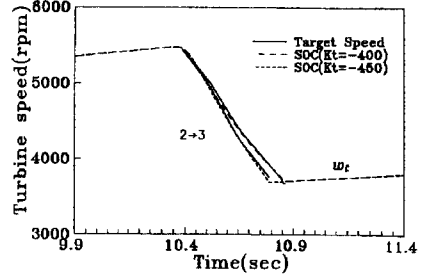
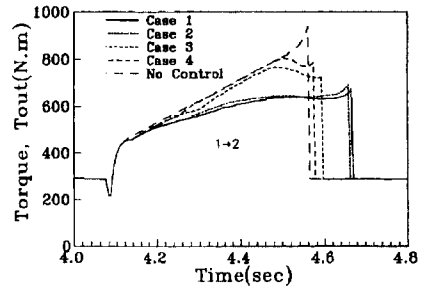


Fig. 9 Transient responses of a vehicle for the change in target rate of turbine speed at 2 to 3 shift ($u_0 = 0.15$ A).



Case 1 : $\Delta T_1 : \Delta T_2 : \Delta T_3 = 1 : 1 : 1$, $K_{t1} = K_{t3} = -318$, $K_{t2} = -414$
 Case 2 : $\Delta T_1 : \Delta T_2 : \Delta T_3 = 1 : 2 : 1$, $K_{t1} = K_{t3} = -318$, $K_{t2} = -414$
 Case 3 : $\Delta T_1 : \Delta T_2 : \Delta T_3 = 1 : 1 : 1$, $K_{t1} = K_{t3} = -318$, $K_{t2} = -500$
 Case 4 : $\Delta T_1 : \Delta T_2 : \Delta T_3 = 1 : 2 : 1$, $K_{t1} = K_{t3} = -318$, $K_{t2} = -500$

Fig. 10 Shift-transient torque responses of a vehicle for the change in patterns of target turbine speed.

도에 접근하는 우수한 제어성능을 보여 주었다.

3.2 목표 터빈속도 형태에 따른 변속과도응답특성

Fig. 10은 각각 1 to 2단 변속시에 목표 터빈속도의 형태에 따른 변속과도특성을 나타낸 그림이다. 여기서, Case 1, 2는 목표 터빈속도의 중간 제어구간의 기울기가 $K_{t2} = -414$ 로 완만한 경우이며, Case 3, 4는 $K_{t2} = -500$ 로 큰 경우이다. 또한, Case 2와 Case 4는 각각 Case 1과 Case 3에 비하여 중간 제어구간의 변속시간을 각각 2배로 늘린 경우이다. 그림에서 보는 바와 같이 각 경우에 따라 변속과도토크의 특성이 크게 영향을 받고 있음을 보여준다. Case 1, 2 경우와 같이 목표 터빈속도의 평균 기울기가 완만해질 수록 변속과도토크의 크기가 줄어들고 있으며, Case 2와 같이 터빈속도의 기울기가 상대적으로 K_{t1} , K_{t3} 에 비하여 급한 중간 제어구간 ($= \Delta T_2$)이 길어질 수록 변속과도토크는 증가하게 된다. 또한, Case 3, 4의 경우와

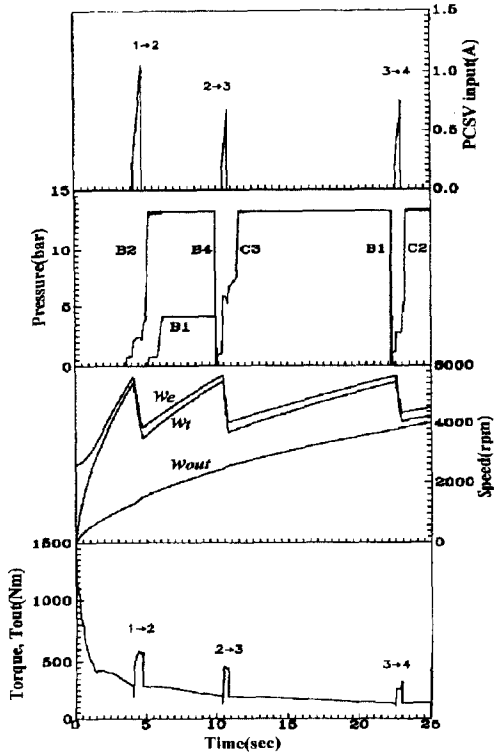


Fig. 11 Driving simulation of a vehicle with control (at full throttle).

같이 중간 제어구간의 터빈속도 기울기를 더 급하게 하였을 때, 과도토크는 더 커지고 있으나 변속 시간은 현저히 감소하게 된다. 따라서, 요구되는 변속과도토크와 변속시간 사이에 적절한 선에서 목표 터빈속도의 조정이 필요하게 됨을 알 수 있다.

3.3 주행시의 제어 응답특성

Fig. 11은 자기구성 제어기를 사용하여 1단에서 4단까지 주행시의 변속과도토크의 응답특성을 제어 입력, 제어압력, 엔진속도 (W_e), 터빈속도 (W_i) 및 출력속도 (W_{out})와 함께 나타낸 그림이며, Fig. 12는 같은 상황에서 제어하지 않았을 때의 주행응답 특성을 나타낸 그림이다. 그림에서 보는 바와 같이 변속시에 엔진속도, 터빈속도가 각각 급격히 저하되며, 이때 변속과도토크가 발생됨을 보여주고 있다. 두개의 그림을 비교해 보면 자기구성 제어기에 의하여 클러치의 압력제어를 하였을 경우가 제어하지 않았을 경우보다 출력속도에 거의 영향을 주지 않고 변속 과도토크가 현저히 감소하였음을 보여주고 있다. 또한, 주행시 변속과도특성은 문헌에 나와

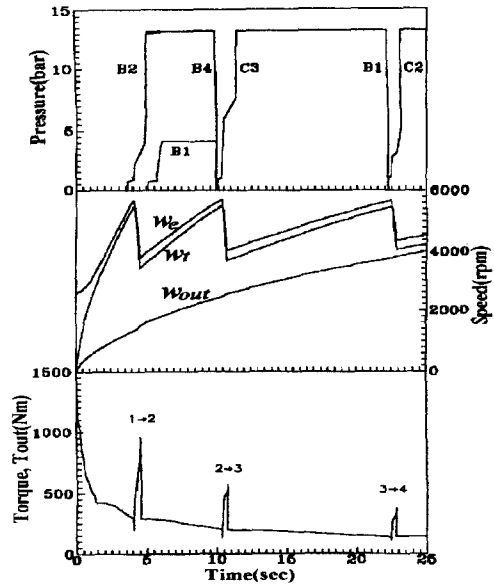


Fig. 12 Driving simulation of a vehicle without control (at full throttle).

있는 자동변속기 장착차량의 실차 변속과도특성⁽¹¹⁾과 유사한 경향을 보여주고 있으나, 수학적인 모델에 의해 고려하기 힘든 차량의 충격흡수 및 댐핑요소로 인하여 실제 차량보다 변속과도토크가 약간 크게 나타났다.

4. 결 론

변속시 발생하는 과도토크를 제어하기 위하여 터빈속도 변화율을 피드백신호로 사용하였으며, 클러치 압력제어 알고리즘으로 학습기능을 갖는 자기구성 제어기를 제안하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 시뮬레이션을 통하여 분석한 결과는 제안된 자기구성 제어기의 우수한 학습능력과 과도토크 제어성능을 보여 주었다.
- (2) 목표 터빈속도의 형태에 따라 변속제어시 변속 과도토크의 형태가 다르게 나타났으며, 클러치 및 브레이크에 무리가 가지 않는 변속시간 내에서 변속이 이루어지도록 하기 위한 적절한 목표 터빈속도 변화율 설정이 요구된다.
- (3) 제안된 경사(descent)방법에 의한 자기구성 제어기 학습제어 알고리즘은 계산이 단순하며 학습수렴성이 우수하여 실제 차량에 적용시 실시간 연산으로 우수한 제어성능을 발휘할 것으로 기대된

다.

(4) 변속품질 향상을 위한 클러치 압력 제어는 벨브바디 유압시스템의 구조적인 압력형성 특성에 의해 제어압력의 범위가 제한되어 제어성능을 제한하게 되며, 이를 해결하기 위해서는 제어 알고리즘의 개발과 동시에 벨브바디의 유압회로 설계 연구가 고려되어야 한다.

참고문헌

- (1) Schwab, M., 1984, "Electronic Control of a 4-Speed Automatic Transmission with Lock-Up Clutch," *SAE* 840448.
- (2) Leising, M. B., Benford, H. and Holbrook, G. L., 1989, "The All-Adaptive Controls for the Chrysler Ultradrive Transaxle," *SAE* 890529.
- (3) Taniguchi, H., 1991, "Analysis of a New Automatic Transmission Control System for LEXUS LS400," *SAE* 910639.
- (4) Narita, Y., 1991, "Improving Automatic Transmission Shift Quality by Feedback Control with a Turbine Speed Sensor," *SAE* 911938.
- (5) Procyk, T. J. and Mamdani, E. H., 1979, "A Linguistic Self-organizing Process Controller," *Automatica*, Vol. 15, pp. 15~30.
- (6) Wang, L. X., 1994, "A Supervisory Controller for Fuzzy Control Systems that Guarantees Stability," *IEEE Trans. on Automatic Control*, Vol. 39, No. 9, pp. 1845~1847.
- (7) Wang, L. X., 1994, *Adaptive Fuzzy Systems and Control: Design and Stability Analysis*, Prentice-Hall Int. Inc.
- (8) 전윤식, 1995, "자동변속기 변속과도특성 해석 및 자기학습 알고리즘을 이용한 변속 제어기 설계," 기계공학과, 박사학위논문, 고려대학교.
- (9) 전윤식, 장효환, 1995, "Descent방법을 이용한 자기학습 퍼지제어기," 한국자동제어학술회의 논문집, pp. 1009~1012.
- (10) 장효환, 전윤식, 1995, "자동변속기 변속과도 특성 해석," 한국자동차공학회 춘계학술대회 논문집, #953883, pp. 136~142.
- (11) Martin, B., 1993, "42LE Electronic Four Speed Automatic Transaxle," *SAE* 930671.