

퍼지 추론을 이용한 자동차 변속패턴 보정 알고리즘 개발

Compensation Algorithm for Automobile Shift Pattern using Fuzzy Reasoning

吉 成 洪*, 朴 貴 泰**
Sung-Hong Kil*, Gwi-Tae Park**

Abstract

Abstract-This paper proposes the compensation algorithm of conventional shift pattern using fuzzy reasoning in automatic transmission vehicles. Recently, automatic transmission vehicles are continually increasing because of their ease to drive. Also users require the high performance which includes the smooth shift quality and shift scheduling that matches driver's intentions. So the shift scheduling has been improved significantly through the application of electronic control. But, in spite of this development, vehicles using conventional shift pattern are sometimes in discord with driver's intention on roads. In this paper, the proposed compensation algorithm makes a automatic transmission vehicle be able to select an optimal gear shifting time and position using fuzzy reasoning and make a vehicle driver feel comfortable even when the vehicle runs on roads which is extremely changed. Therefore, a vehicle driver can expect to reduce the number of unnecessary gear shifting and expect the fuel efficiency high. To show usefulness of the proposed method, some simulation are made to compared with conventional gear shifting. paper proposes the compensation method of conventional shift pattern using fuzzy reasoning for the purpose that a vehicle can select an optimal gear shifting time and position in automatic vehicle. Though the conventional shift pattern has no pliability, vehicle driver can feel comfortable and can reduce the number of unnecessary gear shifting using the proposed method on variable road condition. Therefore, it can be expected the fuel efficiency.

I. 서 론

자동차에서 운전자의 편의를 도모하기 위해 사용되고 있는 자동변속기(AT: automatic transmission) 부착 차량의 수요가 최근 증가되고 있는 추세이다. 이는 수동변속기 차량이 차속과 현 차량의 부하상태에 따라 적절한 변속조작을 해야 되고, 숙달되지 못한 운전자에게는 차속등 엔진에 걸리는 부하상태를 판단하여 적절한 변속을 행하는 것이 쉽지 않으며, 또한 숙달된 운전자에게도 정체가 많은 도심 주행중에는 클러치페달과 변속레버를 자주

* 準會員 : 現代自動車 麻北里研究所 研究 3TEAM 代理

** 正會員 : 高麗大 電氣工學科 教授·工博

조작해야 하는 번거로움으로 운전자의 피로를 가중시키기 때문이다. 이에 반해 AT 차량은 이와 같은 번거로운 조작으로부터 운전자를 해방하기 위해 변속레버 조작을 기계적 또는 전자적으로 변속레버를 동작시켜, 운전자가 가속 페달 동작만으로 차량을 운행할 수 있도록 한 것이다. AT는 이러한 특징 외에도 다음과 같은 장단점을 가지고 있다. 장점을 살펴보면,

- 1) 운전중 차의 덜컥거림이나 엔진정지 현상이 없다.
- 2) 엔진이나 구동장치에 무리한 힘이나 충격이 전달되지 않는다.
- 3) 저속시 토오크 증배작용으로 큰 토오크를 얻을 수 있다.
- 4) 동력의 차단없이 변속이 가능하다.
- 5) 유체를 통한 동력전달로 인해 소음이 작다.

단점으로는

- 1) 수동변속기에 비해 연료소모가 많다.
- 2) 변속시기가 운전자의 의지와 정확하게 부합되지 않는 경우가 있다.
- 3) 고장 규명이 쉽지 않고, 정교한 제작이 요구되어 가격이 비싸다.

현재 쓰이고 있는 AT는 차량의 성능 향상, 연비개선, 변속감 향상 및 정밀제어 등의 목적으로 기계식보다 전자제어 방식을 채용하는 추세이다. 이에 따라 전자제어식 AT는 부드러운 변속 및 차량의 주행상태에 따라 변속단이 정해지도록 하기 위해 T.C.U(transmission control unit)라는 컴퓨터를 이용하여 제어하고 있다. 그러나 차량을 T.C.U 내에 프로그램되어 있는 변속패턴에 따라 운전하다 보면 운전자가 원하지 않은 변속이 일어나는 경우가 발생하기도 한다. 즉, 도로의 구배가 심한 언덕길이나 내리막길의 운행시 운전자의 의지와 무관한 변속이 일어날 수 있으며, 이로 인해 운전자는 예상하지 못한 변속으로 인해 승차감 저하를 느끼게 되고, 차량의 과도한 연료 소비 및 배기가스 과배출이 발생되어 환경오염의 원인이 되기도 한다. 또한 AT의 클러치류와 브레이크류의 잦은 사용으로 인한 AT 차량의 수명을 단축시키는 원인이 되기도 한다.

본 연구는 상기에 기술된 기존의 전자제어식 AT의 변속패턴에 따라 변속되는 차량이 구배가 심한 언덕길이나 내리막길 주행시, 좀더 운전자의 의지에 부합되는 변속이 이루어지도록 차량의 현상태를 센서로 읽어들이며, 그 값을 미리 결정된 "If~then. ~"의 퍼지 제어규칙의 입력으로 사용하여 운전자 의지를 추론하고, 그 결과를 기존의 변속패턴에 가하여 변속할 것인지 여부를 결정하는 방법을 제안하는데 있다. 따라서 변속시기가 변속시의 차량상태와 운전자의 조작에 따라 적절하게 가변되게 함으로써 운전자 의지에 좀 더 부합되게 되고, 이에 따라 불필요한 변속을 지양할 수 있게 되어 차량의 변속 횟수의 감소 및 최적의 변속단으로 차량을 주행할 수 있도록 하는데 목적이 있다.

II. AT와 변속패턴

2.1 AT의 구성

AT는 차량의 자동변속 장치를 일컫는 말로, 유체를 매개체로 하여 엔진에서 얻어진 동력이 변속기에서 조절되어 부하가 걸려있는 차량의 앞바퀴 또는 뒷바퀴 쪽으로 전달되도록 하여 차량을 움직이는 구조로 되어 있고, 또한 수동변속기가 운전자의 의지에 따라 차량 변속을 해야 하는데 반해, AT는 차량의 주행상태에 따라 변속이 자동으로 이루어지도록 설계되어 있다. AT를 크게 구분하면 그림 1에서와 같이 토오크 컨버터(torque converter), T.C.U와 유압제어 기구를 포함하는 전자제어계, 유성치차(planet gear set)로 구성되어 있다. 각 부의 특징을 살펴보면 다음과 같다.

2.1.1 토오크 컨버터

토오크 컨버터는 엔진의 구동력을 변속기에 전달하며 수동변속기의 플라이 휠이 휘일 기능을 가지고 있고, 출발시와 차량의 가속시에 엔진 토오크를 증배함은 물론 토오크 변화를 흡수하여 부드러운 승차감을 얻을 수 있게 한다. 토오크 컨버터는 내부에 오일이 채워져 있고, 이 오일의 원심력을 이용한 에너지 전달로 엔진의 회전력을 바퀴에 원

활히 전달하고 충격이나 크랭크 축의 비틀림 진동을 완화하는 역할을 한다. 그 구조는 그림 2와 같다. 펌프 (pump)는 엔진의 회전력을 오일에 의해 생긴 원심력으로 바꾸어 터빈(turbine)으로 에너지를 전달 하며, 터어 빈은 펌프로 부터 전달된 오일의 원심력이 입력축(input shaft)으로 전달되도록 하는 역할을 하고, 스테이터 (stator)는 터어빈에서 나온 오일의 방향을 바꾸어 토크 증배작용을 하게 한다.

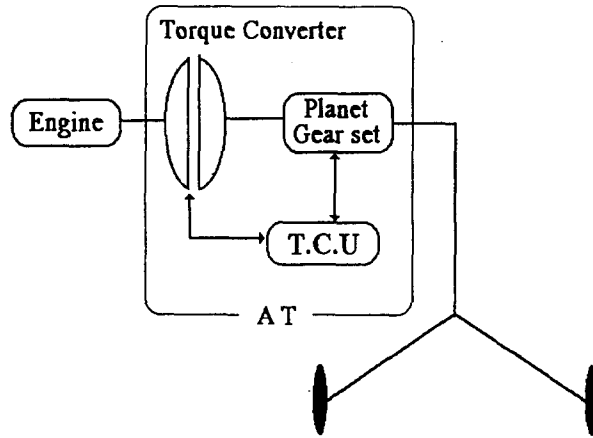


그림 1. AT 구성도

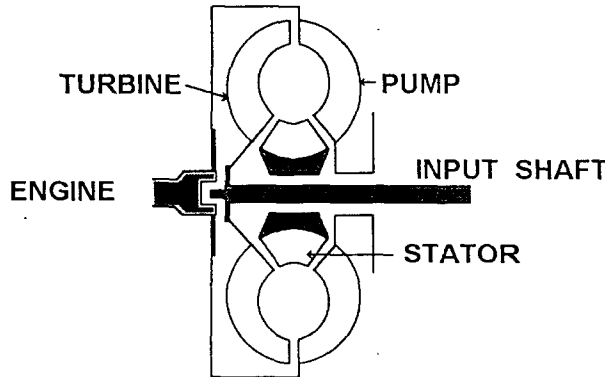
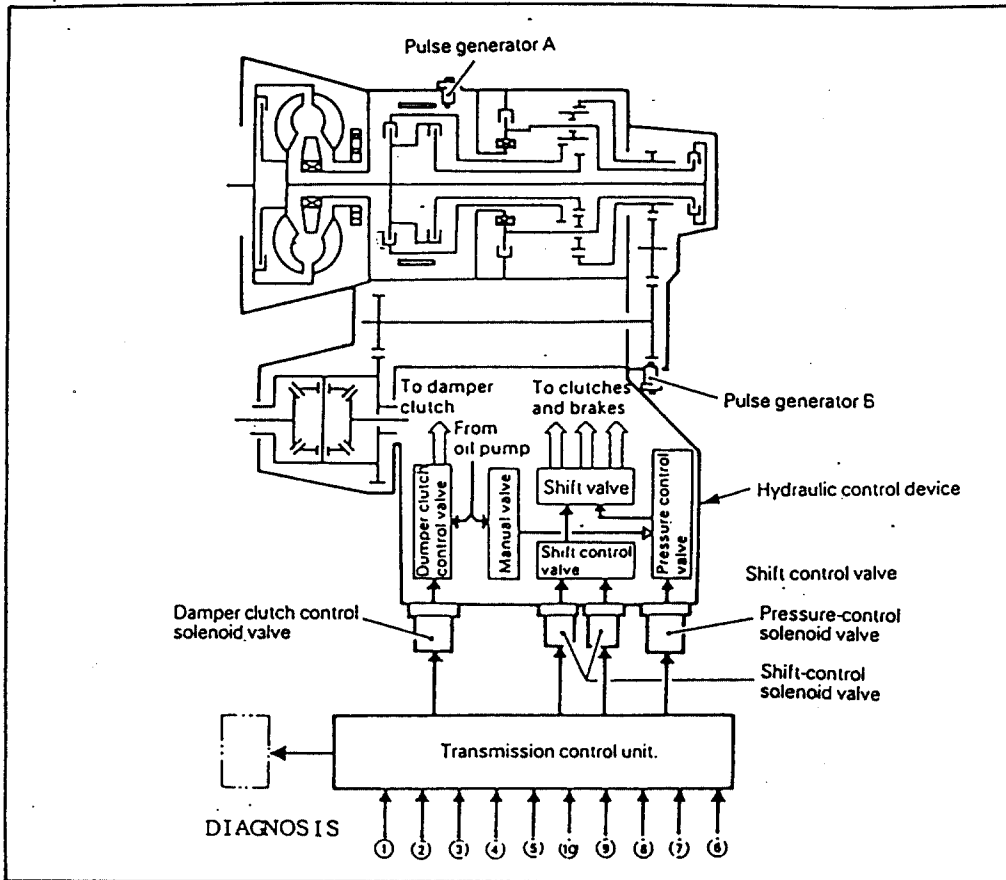


그림 2. 토오크 컨버터 구조

2.1.2 전자제어계

그림 3은 현재 사용되고 있는 현대자동차 AT의 전자제어계 구성이다.

최근 사용하고 있는 AT는 종래의 유압제어식보다 정밀하게 제어할 목적으로 전자제어식을 채택하여 사용하고 있다. 이는 변속 및 댐퍼 클러치를 제어할 목적으로 차량의 각종 센서로부터 신호를 받아 T.C.U가 유압회로 내의 솔레노이드 밸브를 duty 제어하여 유로의 변경 및 유압을 정밀하게 조절한다.



No	센서	기능	No	센서	기능
1	T.P.S	트로틀 개도	6	유온 sensor	유온 온도
2	PG-A	K/D drum 회전수	7	Accel sw.	accel on/off
3	PG-B	T/F drive 기어 회전수	8	OD sw	over drive 선택
4	Ignition coil	엔진 회전수	9	K/D servo sw	K/D piston 위치
5	Inhibitor sw	select lever 위치	10	차속 sw	차속

그림 3. 전자제어계의 구성

2.1.3 유성치차

AT 차량의 각 변속비를 만들어내는 기구로 유압제어 기구를 통해 각종 클러치류와 브레이크류가 조작되어 동작된다. AT 차량이 유성치차를 사용하는 이유는

- 1) 동력의 차단없이 변속이 가능하다.
- 2) 변속시 축방향으로 기어의 습동이 필요없다.
- 3) 입력축과 출력축을 일직선상에 배치할 수 있다.
- 4) 형태가 수동변속기의 sliding type보다 compact하다.
- 5) 여러개의 치차에 하중을 평등히 분배하므로 베어링의 하중이 작다.

- 6) 하중이 분배되므로 소음이 적다.
 - 7) 한조의 유성치차로 여러 감속비를 얻을 수 있다.
- 단점은 아래와 같다.
- 1) 사용할 수 있는 감속비에는 제약이 따른다.
 - 2) 고장 규명이 쉽지 않고, 정교한 제작이 요구되어 가격이 비싸다.
 - 3) 조합의 치수에는 제약이 있다.

2.2 변속패턴

운전자의 주관에 따라 변속되어지는 수동변속기와는 달리 AT의 경우는 미리 정해진 변속패턴에 따라 운전자의 의지와는 무관하게 변속이 행해지므로 변속패턴을 결정하는 문제는 차량의 성능 및 연비에 직접적인 영향을 주는 중요한 요인이 된다. 그림 4는 전자제어식 AT를 채택하고 있는 현대 알파 스퀴프용 변속패턴을 나타낸 것으로서, up shift는 실선으로 down shift는 파선으로 표시하였고 종축은 트로틀 개도, 횡축은 차속(transfer shaft speed)을 보여주고 있다.

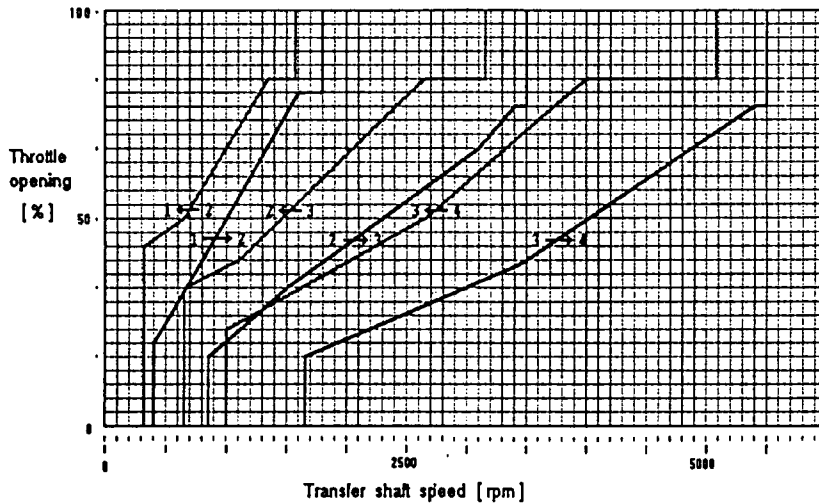


그림 4. 변속패턴도(power mode)

AT의 변속패턴은 크게 2가지 mode로 나뉘어 지는데, 하나는 차량의 구동력을 강조한 power mode이고 다른 하나는 차량의 주행연비 측면을 강조한 economy mode이다. 엔진의 구동력이 최대가 되는 점을 따라 변속시기가 결정되는 power mode에 비해, economy mode는 동력성능에 크게 문제가 되지 않는 범위에서 연비 등을 고려하여 결정되며, economy mode 변속시점은 power mode 변속시점보다 조금씩 빠르다. 변속패턴의 일반적인 결정 과정을 살펴보면 다음과 같다.(power mode)

2.2.1 UP SHIFT 선

a. 전개(wide open) 트로틀 영역 (80~100%)

가속 시간이 가장 빠르게 설정되며, 각 변속단에서 엔진이 최대 구동력을 발생하는 점에서 up shift가 이루어지도록 결정된다. 각각의 변속점은 1→2 up shift시 5500 rpm, 2→3 up shift시 5750 rpm, 3→4 up shift시 5900

rpm을 나타내고 있음을 알 수 있다.

b. 중간 트로틀 영역(80%이하, 단 power off 영역 제외)

이 영역은 주로 사용하는 영역으로 승차감과 변속 리듬감 및 소음 등을 종합적으로 고려하여 결정되는 구간으로 변속기 기능을 최대화 하도록 변속패턴을 결정한다.

c. 저 트로틀 영역 (power off 영역*)

실차 feeling에서 결정한다.

*power off 영역은 엔진의 구동력이 차량에 전달되지 않는 영역임.

2.2.2 DOWN SHIFT 선

a. 전개(wide open) 트로틀 영역

변속점 부근에서 up shift 선과 down shift 선간에 히스테리시스가 발생하여 잦은 변속이 발생되지 않도록 설정된다. 또한, 40km/h 정도에서 4→1 down shift가 일어나지 않도록 한다.

b. 중간 트로틀 영역

Down shift 선을 결정할 때는 필요 여부를 판단하고, 빠른 가속을 위해 down shift가 되도록 하되 충분한 히스테리시스를 준다. 만약 히스테리시스가 너무 크면 저속으로 down shift가 일어나지 않아 가속 성능이 저하되므로 이 점도 잘 고려하여 결정된다.

c. 저 트로틀 영역

실차에서 엔진 쇼크가 발생되지 않도록 결정하며, 또한 고속 출발이 되지 않는 범위내에서 결정한다.

2.2.3 변속패턴의 결정

Up shift 선과 down shift 선은 최종적으로 많은 시험을 통해 결정되며, 그림 3. 4와 같이 변속패턴이 최종적으로 결정되어지면 T.C.U 내에 프로그램하여 변속시기 결정시 사용되어진다. 그림 4에 나타낸 것 외에도 각 변속단에서 엔진의 overrun을 방지하기 위해 shift 선을 설정하여 둔다. 예를 들어 1,2,3단에서 엔진이 6000 rpm을 넘는 경우가 발생하면 엔진이 고장날 염려가 있으므로 강제적으로 up shift시킨다.

Ⅲ. 변속패턴의 퍼지 보정

3.1 퍼지 보정의 필요성

T.C.U 내에 프로그램되어 있는 변속패턴에 의하여 자동 변속되는 기존 AT의 경우, 도로의 구배가 심한 언덕길이나 내리막길 운전시 다음의 예와 같이 운전자의 의지와 무관한 변속이 일어나게 된다. 이러한 경우, 경우에 따라서 운전자는 좋지 않은 승차감을 느낄 수 있으며 연료 소비면에서나 AT의 수명에도 좋지 않은 영향을 주게 된다.

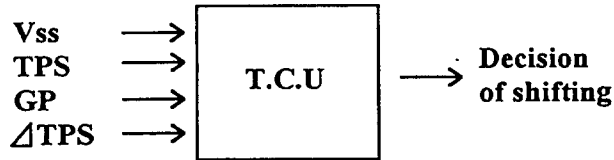
1) 현재의 차속이 110 Km/h이고 엑셀을 많이 밟고 있는 정도가 70 % 이며, 그 당시의 변속단이 3단이다. 이때 운전자가 엑셀을 30 % 이상 때는 경우 기존의 변속패턴에 의하면 3→4 변속이 일어난다. 이러한 운전상황은 가속중 또는 주행저항을 많이 받고 있는 상태에서 내리막길을 만났거나 엔진 브레이크 효과를 기대하여 차의 감속을 원하는 경우로 숙달된 수동변속기 운전자는 이러한 상황이 발생하였을 때, 현변속단을 유지하고자 할 것이다.

2) 운전자가 엑셀을 떼고 브레이크를 밟는 경우, 이때 운전자가 기존 변속패턴에 의하면 저단에서 고단으로(예, 2→3) 변속이 일어난다. 그러나 이러한 상황시 숙달된 운전자는 엔진 브레이크 효과를 최대한 얻어 차량 감속거리를 최소화하려 할 것이다.

3.2 퍼지 보정 알고리즘

전절에서 지적한 바 대로 기존의 고정된 변속패턴에 의하여 자동 변속 할때에 발생하는 문제점을 해결하기 위하여 본 논문에서는 기존의 변속패턴을 사용하면서 불필요한 변속이 발생될 운전상황에 대하여 변속 유무를 결정

하기 위한 퍼지 규칙을 제안하고 수치예를 통하여 유용성을 검증한다. 그림 5와 같이 T.C.U는 변속에 관련된 4개의 입력 정보를 처리한다. 본 논문에서는 T.C.U 내에서 변속을 결정할때, 제안된 퍼지 규칙에 의하여 변속 유무를 결정할 수 있는 결정 의지 지수를 발생시키도록 한다.



- * Vss (Vehicle speed sensor) : 차속,
- GP (Gear Position) : 현 변속단,
- TPS (Throttle Position Sensor) : Accel 개도,
- |ΔTPS| : TPS 변화량의 절대값 (|현재 TPS - 이전 TPS|)

그림 5. 변속 관련 입력 정보 처리 과정

이와 같이 4가지 입력은 그림 6과 같이 퍼지화 단계, 각 입력 변수들의 소속 함수에 의한 추론 및 비퍼지화 단계를 통하여 최종적인 변속 결정 유무가 결정된다.

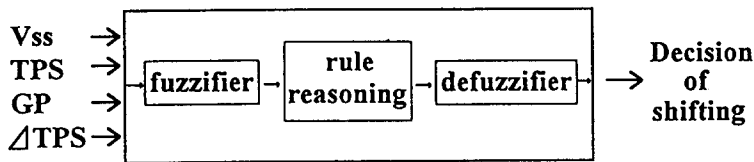


그림 6. 퍼지 보정 순서

퍼지화는 입력 센서로부터 입력된 각 변수들을 싱글톤 방법에 의하여 구하고, 다음과 같이 미리 작성된 변속 결정 규칙에 의하여 추론을 행한다.

Rule 1 : If input 1 is A_{11} , and input 2 is A_{12} , input 3 is A_{13} ,
input 4 is A_{14} , then $V_1 = B_1$

...

Rule K : If input 1 is A_{K1} , and input 2 is A_{K2} , input 3 is A_{K3} ,
input 4 is A_{K4} , then $V_K = B_K$

...

Rule N : If input 1 is A_{N1} , and input 2 is A_{N2} , input 3 is A_{N3} ,
input 4 is A_{N4} , then $V_N = B_N$

여기서 A_{kI} : rule k에서 입력 변수의 소속 정도를 표현하는 퍼지 집합으로 표현되는 퍼지라벨,
 B_k : rule k의 입력 변수들에 대하여 변속 의지의 정도를 표현하는 실수값
 input I : 입력변수,

V_K : 출력 변수

B_K 의 부호는 양인 경우 현변속단을 유지하려는 의지 표현, 음인 경우 기존 패턴에 따라 변속하고자 하는 의지 표현이다.

min-max 표현에 의하면 규칙 k에의 적합도는 식(1)과 같이 표현될 수 있다.

Rule K 의 적합도는 다음과 같다.

$$\tilde{V}_K = \min[\mu_{AK1}(V_{SS}), \mu_{AK2}(TPS), \mu_{AK3}(GP), \mu_{AK4}(|\Delta TPS|)] \quad (1)$$

여기서 $\mu_{AKi}(x)$ 는 x가 라벨 A_{Ki} 에 소속되는 소속 정도를 의미한다. 사용된 퍼지 라벨은 V_{SS} 에 대하여서는 Low, Mid, High의 세개, TPS에 대하여서는 Low, Mid, High의 세개, GP에 대하여서는 Low, High의 두개, $|\Delta TPS|$ 에 대하여서는 Small, Mid, Big과 같이 사용한다. 식 (1)과 같이 k번째 규칙에 대한 적합도가 구해지면 최종적인 변속 결정 지수 V는 전체 규칙에 대하여 다음과 같이 무게 중심법에 의한 계산을 할 수 있다.

$$V = \frac{\sum_k [\tilde{V}_K] * B_k}{\sum_k [\tilde{V}_K]} \quad (2)$$

여기서 식(2)에 의한 변속 결정 지수 V는 다음과 같은 의미를 갖는다.

- 1) $V > 0$ 이면, V의 크기에 따라 운전자가 현변속단을 유지하고자 하는 의지정도를 나타내며,
 - 2) $V \leq 0$ 이면, V의 크기에 따라 운전자가 기존의 변속패턴에 따라 변속을 하고자 하는 의지 정도를 나타낸다.
- 또한 퍼지 보정을 wide open 트로틀 영역(80~100%)에서는 하지 않도록 하여 차량이 최대 구동력을 가질 수 있도록 보증하고, 그 외 구간에서는 퍼지 추론을 행한다. 추론 결과에 따른 변속패턴의 퍼지 보정 순서도는 그림 7과 같다.

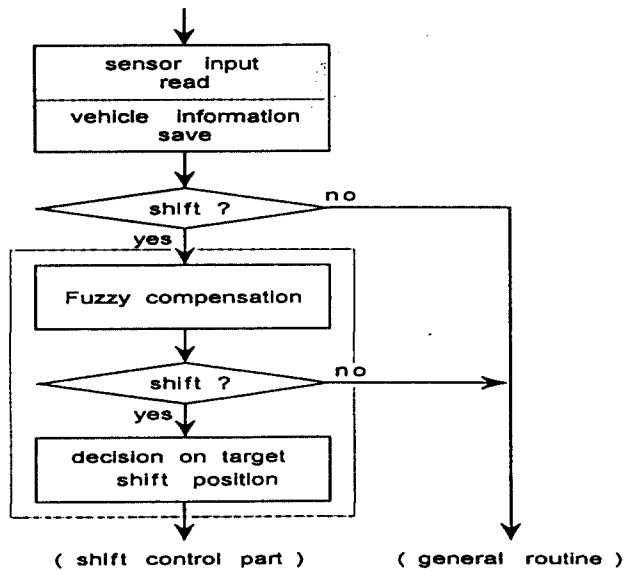


그림 7. 변속패턴의 퍼지 보정 순서도

기존의 변속패턴에 대한 퍼지 보정 순서를 서술하면 다음과 같다.

- 1) 기존 패턴에 의한 변속 여부가 결정된다.
- 2) 결정된 변속단으로 변속제어되기 전에 퍼지 보정 여부를 확인한다.

이때 wide open 트로틀 영역(80~100%) 이거나, 퍼지 보정을 원하지 않는 경우, 목표 변속단 결정 part로 넘어 간다.

3) 퍼지 보정한 결과, 전체규칙에 의한 출력값 V 가 0이거나 음수이면 목표 변속단 결정 part로 넘어가고, 출력값이 양수이면 변속을 하지 않고 일반 루틴으로 간다.

- 4) 목표 변속단이 결정되면, 변속제어 part로 가서 변속제어가 이루어 진다.

3.3 소속 함수의 결정

퍼지 추론에 사용되는 입력 변수에 대한 소속함수는 전체공간에 대하여 표현되는 그림 8과 같은 모양이다. 이러한 소속함수는 전체 규칙에 의한 변속지수 추론시 영향을 미치므로 신중히 선택되어야 한다. 일반적으로 소속 함수 결정시에는 계통 운전에 대한 데이터나 경험적인 자료가 주어져야 하며, 최근에는 이러한 데이터로부터 최적의 소속함수를 구하는 여러 기법들이 제안되고 있으나, 본 논문에서는 현대 알파 스쿠프 엔진에 대한 자료와 경험등을 토대로 작성되었다.

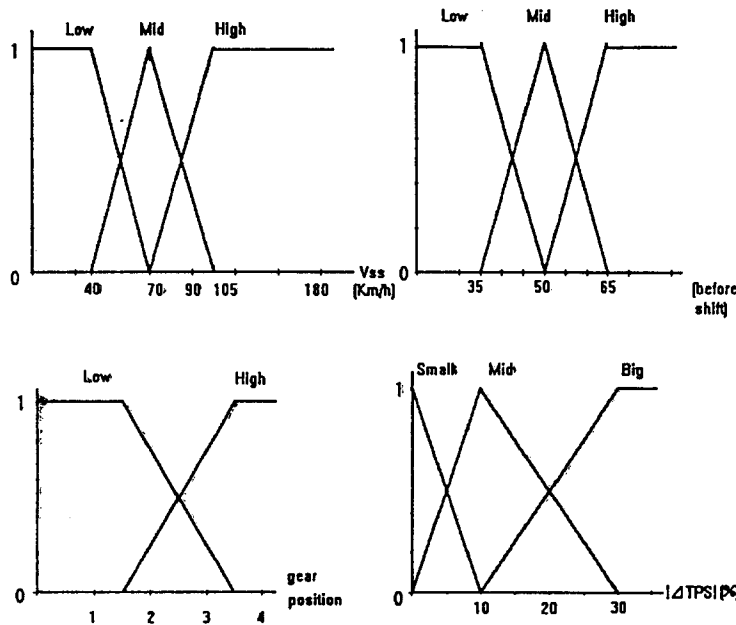


그림 8. 각 입력의 소속 함수

3.4 Down shift 시의 변속 결정 규칙

Down shift라 함은 변속기의 위치가 고단에서 저단으로 변화하는 과정으로, 수동변속기의 경우는 skip 변속을 할 수 있지만, 본 논문에서 다루는 AT는 제어상 기계적인 문제 때문에 skip 변속(예, 4→2 2→4 등 2단이상 변속되는 변속)을 할 수 없다. 변속 의지를 나타내는 가중치에 대한 규칙은 표 1과 같다. 표 1의 down shift 규칙은,

표 1. DOWN SHIFT 규칙

규칙	If (전건부)				Then (결론부)
	V _{ss}	TPS	GP	ΔTPS	가중치
D1	high	high	high	-	+1.0
D2	high	mid	high	small ⊕ mid	+0.7
D2'	high	mid	high	big	-0.3
D3	high	low	high	small ⊕ mid	+1.0
D3'	high	low	high	big	-0.5
D4	mid	high	high	small ⊕ mid	+0.3
D5	mid	high	low	small ⊕ mid	+0.5
D6	mid	mid	high	small ⊕ mid	-0.3
D6'	mid	mid	high	big	-1.0
D7	mid	mid	low	small ⊕ mid	+0.5
D7'	mid	mid	low	big	-1.0
D8	mid	low	high	small ⊕ mid	-0.5
D8'	mid	low	high	big	-1.0
D9	mid	low	low	small ⊕ mid	+0.5
D9'	mid	low	low	big	-0.5
D10	low	high	low	small ⊕ mid	+0.3
D10'	low	high	low	big	-0.7
D11	low	mid	low	small ⊕ mid	+0.3
D11'	low	mid	low	big	-0.5
D12	low	low	low	small ⊕ mid	-0.3
D12'	low	low	low	big	-0.7

⊕: 한계합(bounded sum)

$$\forall x \in X, \mu_{A \oplus B}(x) = \min [1, \mu_A(x) + \mu_B(x)]$$

일반적인 운전자의 의지와 부합되도록 퍼지 규칙으로 만든 것으로서 결론부의 가중치는 운전자의 변속의지를 나타내고 있다. 예를 보면 다음과 같다.

D1) 현재의 차속이 빠르고 엑셀을 많이 밟고 있는 상태이며, 현재의 변속단이 고단이다. 이때 운전자가 엑셀의 더 밟는 경우, 운전자는 현재의 변속단을 유지하여 주행하고자 한다, 즉 언덕을 만난 경우라도 운전자는 현재의 변속단으로 유지하려는 경향이 강하다.(+1.0)

D2') 현재의 차속이 빠르고 엑셀을 중간정도 밟고 있는 상태이며, 현재의 변속단이 고단이다. 이때 운전자가 엑셀을 많이 밟는 경우, 운전자는 가속을 하기 위해 down shift를 원하는 경향이 있다.(-0.3)

D6') 현재의 차속이 중속이고 엑셀을 중간정도 밟고 있는 상태이며, 현재의 변속단이 고단이다. 이때 운전자가 엑셀을 많이 밟는 경우, 운전자는 가속을 원하거나 구배가 심한 언덕을 만났을 때로 기존 변속패턴에 의해 변속되기를 원하는 경향이 강하다.(-1.0)

D9) 현재의 차속이 중속이고 엑셀을 조금 밟고 있는 상태이며, 현재의 변속단이 저단이다. 이때 운전자가 엑셀

을 조금 밟는 경우, 운전자는 변속을 원하는 경향보다 현재의 변속단으로 계속 주행하기를 원하는 경향이 있다. (+0.5)

D12' 현재의 차속이 저속이고 엑셀을 조금 밟고 있는 상태이며, 현재의 변속단이 저단이다. 이때 운전자가 엑셀을 많이 밟을 시, 운전자는 가속을 원하거나 언덕길을 만나 주행하는 경우로 기존 변속패턴에 의해 변속되어 저속으로 구동력을 높이기를 원하는 경향이 강하다. (-0.7)

3.5 Up shift 시의 변속 결정 규칙

Up shift시에는 down shift와는 다른 형태의 규칙이 필요하고 또한 up shift와 마찬가지로 skip 변속을 할 수 없다. 변속 의지를 나타내는 가중치에 대한 규칙은 표 2와 같다. 표 2의 up shift 규칙은 일반적인 운전자의 의지와 부합되도록 퍼지 규칙으로 만든 것으로서, 결론부의 가중치는 운전자의 변속의지를 나타내고 있다. 예를 들어 보면 다음과 같다.

표 2 UP SHIFT 규칙

규칙	If (전건부)				Then (결론부)
	V _{SS}	TPS	GP	ΔTPS	가중치
U1	high	high	high	big	+0.5
U1'	high	high	high	mid	-0.3
U1''	high	high	high	small	-0.7
U2	high	mid	high	big	+0.5
U2'	high	mid	high	mid	+0.3
U2''	high	mid	high	small	-0.5
U3	high	low	high	big	+0.5
U3'	high	low	high	mid	+0.3
U3''	high	low	high	small	-0.3
U4	mid	high	high	big	+0.5
U4'	mid	high	high	mid	-0.3
U4''	mid	high	high	small	-0.5
U5	mid	high	low	big	+0.3
U5'	mid	high	low	mid	-0.5
U5''	mid	high	low	small	-0.7
U6	mid	mid	high	big	+0.5
U6'	mid	mid	high	mid	+0.3
U6''	mid	mid	high	small	-0.5
U7	mid	mid	low	big	+0.5
U7'	mid	mid	low	mid	-0.3
U7''	mid	mid	low	small	-0.5
U8	mid	low	high	big	+0.7
U8'	mid	low	high	mid	+0.5

U8*	mid	low	high	small	-0.3
U9	mid	low	low	big	+0.5
U9'	mid	low	low	mid	+0.3
U9*	mid	low	low	small	-0.5
U10	low	high	low	big	+0.3
U10'	low	high	low	mid	-0.5
U10*	low	high	low	small	-0.7
U11	low	mid	low	big	+0.5
U11'	low	mid	low	mid	+0.3
U11*	low	mid	low	small	-0.5
U12	low	low	low	big	+0.5
U12'	low	low	low	mid	+0.3
U12*	low	low	low	small	-0.7
U13	If there is a brake signal, then gear postion is held				

U1) 현재의 차속이 빠르고 엑셀을 많이 밟고 있는 상태이며, 현재의 변속단이 고단이다. 이때 운전자가 엑셀을 많이 떼는 경우, 운전자는 현재의 변속단을 유지하여 주행하고자 하는 경향이 있다. 즉 가속중 또는 주행저항을 많이 받고 있는 상태에서 내리막길을 만났거나 엔진 브레이크 효과를 기대하거나 차의 감속을 원하는 경우이다. (+0.5)

U5') 현재의 차속이 중속이고 엑셀을 많이 밟고 있는 상태이며, 현재의 변속단이 고단이다. 이때 운전자가 엑셀을 조금 떼는 경우, 운전자는 주행 환경의 급격한 변화가 있다고 생각하지 않으므로 기존 변속패턴에 의해 변속되기를 원하는 경향이 강하다. (-0.7)

U8) 현재의 차속이 중속이고 엑셀을 조금 밟고 있는 상태이며, 현재의 변속단이 고단이다. 이때 운전자가 엑셀을 많이 떼는 경우, 운전자는 현재의 변속단을 유지하여 주행하고자 하는 경향이 있다, 즉 주행저항을 조금 받고 있는 상태에서 엔진 브레이크 효과를 기대하거나 운전자가 차량을 정지하려는 경우이다. (+0.7)

U13) 현재의 차속과 엑셀을 밟고 있는 상태, 현재의 변속단에 무관하게 운전자가 브레이크를 밟는 경우, 엔진 브레이크 효과를 최대한 얻어 차량 감속거리를 최소한으로 하는게 운전자의 의지이다. 따라서 이 경우 현재의 변속단을 유지한다. 단 엔진이 정지하는 것을 예방하기 위해 엔진이 대략 $1000 \pm \alpha$ rpm 정도에서 변속되도록 한다. 여기서 α 값은 엔진의 특성에 맞게 실차 시험을 통해서 정한다.

IV. 변속패턴 시험 및 결과

일반적으로 기존의 변속패턴에 의해 변속이 발생하였을 때, 대부분의 경우 운전자의 의지와 부합되거나 간혹 운전자의 의지와 부합되지 않은 경우도 발생한다. 즉 운전자가 현재의 변속단으로 주행환경에 충분히 대처할 수 있다고 판단되는 경우에도 변속이 일어남으로써, 운전자의 의지와 불일치하는 변속이 발생함은 물론 이에 따라 차량에 악영향을 끼치기도 한다. 본절에서는 기존 변속패턴의 결과와 기존 변속패턴에 퍼지 보정을 한 결과를 함께 비교함으로써, 퍼지 보정의 결과가 기존의 변속패턴 결과보다 운전자의 의지에 좀 더 부합됨을 보여주고 있다.

4.1 DOWN SHIFT 결과

4.1.1 일반적인 down shift

운전자가 AT 차량을 주행 중 기존의 변속패턴에 의해 down shift를 경험하는 경우는 다음과 같은 경우이다.

- 1) 차량의 가속시 운전자는 엑셀 페달을 밟게 된다. 이때 현재의 변속단으로는 구동력이 부족하다고 느끼고 변속단을 down shift하여 충분한 구동력으로 차량의 가속력을 높인다.
- 2) 차량이 언덕길을 만났을 때 운전자는 엑셀 페달을 밟게 된다. 이때 현재의 변속단으로는 구동력이 부족하다고 느끼고 변속단을 down shift하여 큰 구동력으로 언덕을 오른다.
- 3) 차량을 정지하려고 할 때, 또는 엑셀을 떼 상태에서 브레이크를 밟거나, 일정한 엑셀 페달을 밟고서 차속을 감속하는 경우이다. 이런 경우 변속단이 down shift된다.

4.1.2 퍼지 보정 결과

표 3은 차량이 주행환경의 변화에 의한 결과로 기존 변속패턴에서 변속이 일어난 경우로, 퍼지 보정에 의해 현 변속단이 유지되는 예를 보여주고 있다. 표 3에서 볼 수 있듯이 가정된 환경에서 퍼지 보정을 함으로써 2회의 불필요한 변속을 억제하는 결과를 얻을 수 있었다. 변속패턴에서의 각 위치는 그림 9에 나타내었고, 퍼지 보정 연산 과정은 다음과 같다.

표 3. DOWN SHIFT 주행시 결과

TEST	V _{ss} (Km/h)	TPSb(%) (before shift)	ΔTPS (%) (현TPS -TPSb)	GP 변화	Fuzzy, 보정 결과
A	80	50	15	4→3	변속
B	80	50	25	4→3	변속
C	50	55	10	3→2	변속hold
D	50	55	25	3→2	변속
E	30	30	20	3→2	변속
F	30	30	35	3→2	변속
G	30	30	45	2→1	변속hold

TEST A

$$\left\{ \begin{array}{l} V_{ss}(\text{차속}) : 80 \text{ Km/h}, \quad \text{변속전의 TPS} : 50\%, \\ \text{TPS 변화량} (|\Delta\text{TPS}|) : 15\% (50\% \rightarrow 65\%) \\ \text{기존 변속패턴에 의한 GP(변속단) 변화} : 4 \rightarrow 3 \end{array} \right.$$

각 입력의 소속 함수값은 표 4와 같다.

표 4. TEST A 입력의 membership 함수의 값

	V _{ss} (80 Km/h)	TPS (50%)	변속전 GP (4단)	ΔTPS (15%)
high (big)	10/35	0	1	1/4
mid	25/35	1	-	3/4
low (small)	0	0	0	0

퍼지 보정 결과를 표 1의 down shift 규칙에 대입하여 결과를 살펴보면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} & \min (V_{ss}, TPS, GP, |\Delta TPS|) \\ D1) & \min (10/35, 0, 1, 1/4) = 0. \\ D2') & \min (10/35, 1, 1, 3/4) = 10/35, \quad 10/35 \cdot 0.7 = 0.2 \\ D2) & \min (10/35, 1, 1, 1/4) = 1/4, \quad 1/4 \cdot (-0.3) = -0.075 \\ D6) & \min (25/35, 1, 1, 3/4) = 25/35, \quad 25/35 \cdot (-0.3) = 0.214 \\ D6') & \min (25/35, 1, 1, 1/4) = 1/4, \quad 1/4 \cdot (-1) = -0.25 \\ D3) \sim D5), D7) \sim D12') & \quad 0. \end{aligned}$$

여기서 D1) D12')의

$$\sum_k [\tilde{V}_k] \cdot B_k = 0.2 + (-0.075) + 0.214 + (-0.25) = -0.339$$

상기의 값을 식(2)에 대입하여 출력값 V 를 구하면

$$V = \frac{\sum_k [\tilde{V}_k] \cdot B_k}{\sum_k [\tilde{V}_k]} = -0.226$$

퍼지 추론 결과 출력값 V 가 -0.226 이므로 운전자가 기존의 변속패턴에 의해 변속하고자 하는 경향이 있음을 보여주고 있다.

TEST C

$$\left\{ \begin{array}{l} V_{ss}(\text{차속}) : 50 \text{ Km/h}, \quad \text{변속전의 TPS} : 55\%, \\ \text{TPS 변화량} (|\Delta TPS|) : 10\% (55\% \rightarrow 65\%) \\ \text{기존 변속패턴에 의한 GP(변속단) 변화} : 3 \rightarrow 2 \end{array} \right.$$

각 입력의 소속 함수값은 표 5와 같다.

표 5. CASE C 입력의 membership 함수의 값

	V _{SS} (50 Km/h)	TPS (55%)	변속전 GP (3단)	\Delta TPS (10%)
high (big)	0	1/3	3/4	0
mid	1/3	2/3	-	1
low (small)	2/3	0	1/4	0

퍼지 보정 결과를 표 1의 down shift 규칙에 대입하여 결과를 살펴보면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} 1) \sim D3') & \quad 0. \\ D4) & \min (1/3, 1/3, 3/4, 1) = 1/4, \quad 1/3 \cdot 0.3 = 0.1 \end{aligned}$$

- D5) $\min (1/3, 1/3, 1/4, 1) = 1/4, \quad 1/4 * 0.5 = 0.125$
- D6) $\min (1/3, 2/3, 3/4, 1) = 1/3, \quad 1/3 * (-0.3) = -0.1$
- D7) $\min (1/3, 2/3, 1/4, 1) = 1/4, \quad 1/4 * 0.5 = 0.125$
- D10) $\min (2/3, 1/3, 1/4, 1) = 1/4, \quad 1/40 * 0.3 = 0.075$
- D11) $\min (2/3, 2/3, 1/4, 1) = 1/4, \quad 1/4 * 0.3 = 0.075$
- D6'), D7'), D8)~D9) 0.
- D10'), D11'), D12)~D12) 0.

여기서 D1) D12)의

$$\sum_k^{13} [\tilde{V}_k] * B_k = 0.1 + 0.125 + (-0.1) + 0.125 + 0.075 + 0.075 = 0.4$$

상기의 값을 식(2)에 대입하여 출력값 V 를 구하면

$$V = \frac{\sum_k [\tilde{V}_k] * B_k}{\sum_k [\tilde{V}_k]} = 0.24$$

퍼지 추론 결과 출력값 V 가 0.24 이므로 운전자가 기존의 변속패턴에 따르지 않고 현변속단으로 주행하고자 하는 경향이 있음을 보여주고 있다. 이는 일반 수동변속기 차량을 주행하는 운전자의 일반적인 의지와도 부합된다.

4.2 UP SHIFT 결과

4.2.1 일반적인 up shift

운전자가 AT 차량을 주행 중 기존의 변속패턴에 의해 up shift를 경험하는 경우는 다음과 같은 경우이다.

- 1) 차량이 일정한 엑셀 페달로 차속을 증가시키고 있는 경우, 차속의 증가에 맞게 변속단이 up shift된다.
- 2) 차량이 가속 중 운전자가 대략 만족한 속도를 얻게 되면 엑셀 페달을 떼게 된다. 이때 변속단이 up shift된다.
- 3) 운전자가 차량의 속도를 감속하고자 엑셀 페달을 떼게 되는 경우, 기존 변속패턴에 따라 up shift된다.

4.2.2 퍼지 보정 결과

표 6은 차량이 주행환경의 변화에 의한 결과로 기존 변속패턴에서 변속이 일어난 경우로, 퍼지 보정에 의해 현 변속단이 유지되는 예를 보여주고 있다. 표 6에서 볼 수 있듯이 가정된 환경에서 퍼지 보정을 함으로써 9회의 불 필요한 변속을 억제하는 결과를 얻을 수 있었다. 변속패턴에서의 각 위치는 그림 10과 그림 11에 나타내었고, 퍼지 보정 연산 과정은 전절의 down shift와 같은 과정을 통해 얻어진다.

표 6. UP SHIFT 주행시 결과

TEST	V _{ss} (Km/h)	TPSb(%) (before shift)	\Delta TPS (%) (현TPS - TPSb)	GP 변화	Fuzzy, 보정 결과
I	110	70	30	3→4	변속 hold
II	115	60	5	3→4	변속
III	95	60	20	3→4	변속 hold
IV	95	45	5	3→4	변속

V	80	75	20	2→3	변속 hold
V'	80	75	15	2→3	변속
VI	85	40	10	3→4	변속 hold
VI'	85	40	5	3→4	변속
VII	60	70	25	2→3	변속 hold
VII'	60	55	10	2→3	변속
VIII	60	30	10	3→4	변속 hold
VIII	60	25	5	3→4	변속
IX	30	70	15	1→2	변속
IX'	30	70	25	1→2	변속 hold
X	30	40	15	2→3	변속 hold
X'	30	35	10	2→3	변속 hold
X''	30	30	5	2→3	변속

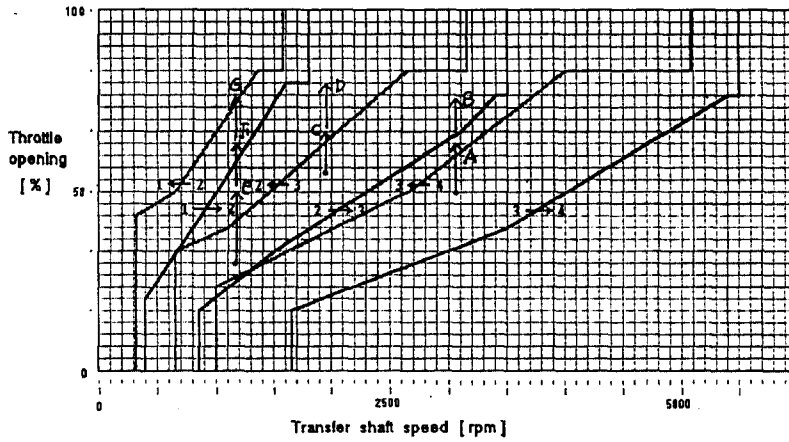


그림 9. DOWN SHIFT시의 변속패턴

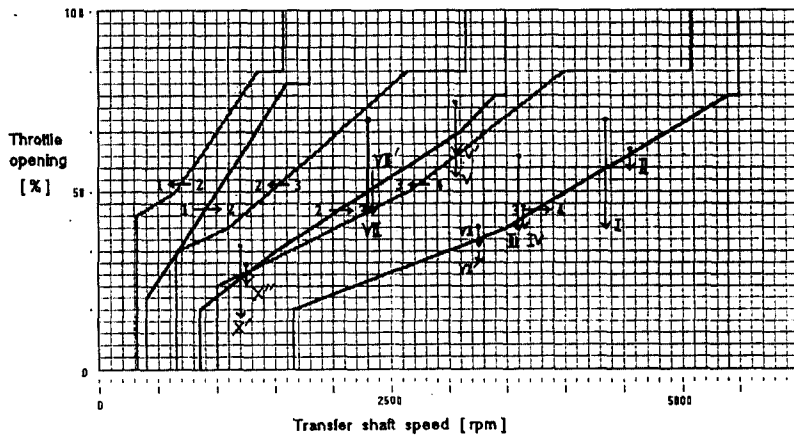


그림 10. UP SHIFT시의 변속패턴(1)

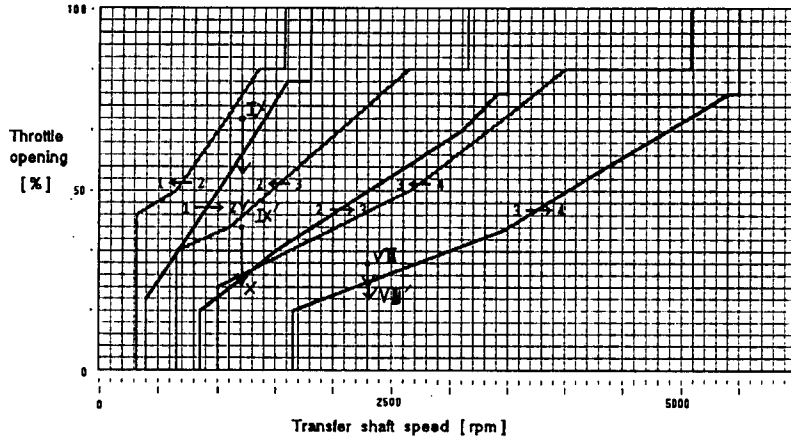


그림 11. UP SHIFT시의 변속패턴(2)

V. 결 론

본 논문은 퍼지 규칙의 추론에 의하여 AT 차량에 대해 기존의 변속패턴을 보정하는 기법을 제안하였다. 여러 가지 운전 상황에 대해 퍼지 추론을 기존의 변속패턴에 부가하여 획일화된 변속패턴에 의해 수행되어온 AT 차량이 도로의 상태와 운전자의 조작에 따라 가변됨을 볼 수 있었다. 이에 따른 장점으로서는 운전자가 느낄 수 있는 최적의 변속단으로 차량 주행을 보장함으로써 불필요한 변속 억제할 수 있어 AT의 수명 연장, 차량의 연비 개선, 배기가스 감소 및 승차감 향상 등을 기대할 수 있게 된다. 또한 기존의 변속패턴을 기본으로 하여 주행상황의 변화가 큰 경우에만 퍼지 보정이 이루어짐으로써, 기존 변속패턴의 장점을 이용할 수 있게 되고 wide open 트로틀 영역에서는 퍼지보정을 지양하여 가속력을 확보할 수 있다. 그리고 내리막길 주행시 엔진 브레이크 효과를 얻을 수 있어 제동거리를 짧게 할 수 있음은 물론, 브레이크 페달을 밟는 시간을 줄일 수 있다.

향후 연구과제로서는, 제안된 퍼지 추론을 이용한 자동차 변속패턴 보정 알고리즘을 직접 AT 차량에 도입하여 퍼지 규칙의 가중치를 보다 세밀하게 조정하며, 차량의 코너링 주행등 여러가지 운행조건을 고려한 제어기의 설계 등이 있다.

참 고 문 헌

1. I. Sakai, S. Sakaguchi, T. Haga, "Shift Scheduling Method of Fuzzy Automatic Transmission Vehicles with Application of Fuzzy Logic," 23rd FISITA Congress Vol. 1, pp. 343-347, 1990
2. I. Sakai, S. Sakaguchi, T. Haga, "Application of Fuzzy Logic to Shift Scheduling Method of Automatic Transmission," 2nd IEEE Int. Conference on Fuzzy Systems Vol. 1, pp. 52-58, 1993
3. 이광형, 오길록, 퍼지 이론 및 응용, 홍릉과학출판사, 1991
4. 박민용, 최항식 譯, 퍼지 시스템의 응용 입문, 대영사, 1990
5. 현대자동차(주), Automatic Transmission, 1988