

논문 2011-48SC-1-3

# 계층적 신경회로망을 사용한 변속선도 결정

(Decision of Shift-map Using Hierarchical Neural Network)

최인찬\*, 전홍태\*\*

(In-Chan Choi and Hong-Tae Jeon)

## 요약

본 연구는 자동차에 장착된 일반적인 자동변속기의 문제점을 향상시키기 위해서 지능형 변속선도 결정 모듈을 제안한다. 전형적인 자동변속기의 변속선도는 운전자의 습관 및 성향이 반영되지 않기 때문에 운전자가 원하는 변속점을 제공하지 못한다. 기존의 변속선도는 불필요한 기어의 변화가 발생하고 연료효율에도 좋지 않다. 또한 가끔 킥-다운과 같은 현상이 발생한다. 그래서 본 논문에서는 개인적인 운전자의 운전 스타일을 고려한 변속선도를 결정하는 지능형 변속 제어 방법을 연구한다. 운전 스타일은 주행 중인 자동차의 실제 데이터를 이용하여 운전자의 성향 및 운전 습관에 의해 판단된다. 이 모듈은 실제 자동차 데이터를 학습하기 위해 신경회로망을 사용한 계층적 구조로 구성된다. 제안된 지능형 변속선도 제어 모듈은 각 운전자의 운전 스타일에 따라 운전 시 필요한 토크와 속도를 제공하여 운전자에게 적합한 변속점과 변속시간을 제공할 수 있다.

## Abstract

We have investigated the Intelligent Shift-map Module(ISM) to improve some problems in the conventional Automatic Transmission(AT) for automobiles. The typical AT lacks flexibility regarding the shift point because it does not consider the driver's habits and inclinations. Also it often is occurred phenomenon like kick-down. Therefore, we designed a decision module which considers the driving style of the individual driver. The driving style was determined by the inclination of the driver and the driving technique using actual automobile data. The Hierarchical Neural Network(HNN) was applied in generating an intelligent shift map with Multilayer Neural Network(MNN). It was found that the proposed ISM provided a suitable shift point and time because the necessary torque and velocity of the automobile was considered along with the driving style of each driver when designing the ISM.

**Keywords :** Intelligent Shift-map, Driver's habits, Inclination, Hierarchical neural network, Shift point

## I. 서론

현재, 자동차의 자동변속기는 부드러운 변속과 편안함 때문에 많이 장착되고 있다. 특히, 도심의 정체 상황에서 자동변속기는 클러치나 기어 조작의 부담이 적기 때문에 운전자에게 편리하다. 전자전송제어장치(ETCU)

는 르노와 BMW사에 의해 1980년 초반에 소개되었다. 1992년에 Neuffer에 의해 자동으로 변속선도를 선택하는 방법이 개발되었다<sup>[1]</sup>. 그리고 1997년에 Ronald은 대표적인 자동변속 시스템인 stepped transmission을 개발하였다<sup>[2]</sup>. 또한 퍼지 논리 제어 기법<sup>[3]</sup>과 지식 기반으로 기어위치를 제어하는 연구가 있었다<sup>[4]</sup>. 자동차의 자동변속기는 이미 정해진 표준변속선도(standard shift map)에 의해 결정되고, 표준변속선도는 자동차의 속도와 스로틀 밸브(Throttle valve)의 개도(열림정도)에 의해 정해진다. 그리고 킥 다운, 킥 업, 리프트 풋 업 등의 변속이 어느 운전자에게나, 어떤 주행 상황에서나 일관적으로 적용된다. 고정된 변속 패턴의 시스템들은 여러

\* 정회원, 한국기술교육대학교 정보기술공학부  
(School of Information Technology Engineering,  
Korea University of Technology and Education)

\*\* 평생회원-교신저자, 중앙대학교 전자전기공학부  
(School of Electrical and Electronics Engineering,  
Chung-Ang University)

접수일자: 2010년6월22일, 수정완료일: 2011년1월3일

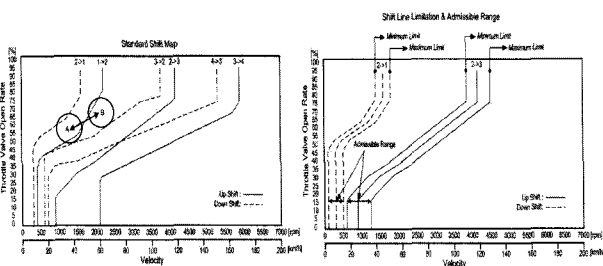
가지 약점을 가지고 있다. 첫 번째, 다양한 운전 조건에 대해 유동적이고 적응적인 변속을 제공할 수 없다. 두 번째, 운전습관과 성향<sup>[5-6]</sup>이 다른 운전자들에게 적합한 기어 변속 시간을 제공할 수 없다. 그래서 퍼지로지과 신경망과 같은 지능 기법으로 이런 문제들을 해결할 수 있는 지능형 변속선도 결정 모듈을 개발하는 것이다<sup>[7]</sup>. 그렇지만 퍼지 로직은 전문가의 많은 실험적인 지식을 기반으로 구성되기 때문에 적합한 멤버십 함수를 얻는데 어려운 점이 있고 신경회로망은 복잡한 문제를 학습하기 위해서는 많은 뉴런이 필요하고 학습 시간도 길어지게 된다. 그래서 본 논문에서는 지능형 변속선도를 결정하기 위해 복잡한 문제를 부문제로 해결하고 부문제의 수정 및 추가가 용이한 계층적 신경회로망 구조를 적용한다<sup>[8]</sup>.

## II. 표준변속선도 결정

기본적인 변속점 제어는 자동차의 변속제어장치가 자동차의 속도와 스로틀 밸브 개도률에 의해 변속단 위치를 결정하는 과정이며, 변속선도에 의해 수행된다.

그림 1(a)에서, 자동차의 속도와 스로틀 밸브 개도률이 만나는 A점일 때, 운전자가 자동차의 속력을 높이기 위해 가속 페달을 밟아 스로틀 밸브 개도률을 조절한다면, A점은 상향변속 라인을 따라 점 B로 이동한다. 즉, 변속위치는 1단에서 2단으로 변하게 된다. 또한 운전자가 점 B의 현재속도를 줄이면, B점은 하향변속 라인을 따라 점A로 이동한다.

고정된 변속 라인은 토크의 제한과 엔진의 회전 속력 때문에 자동차의 제조사에서 정의한 허용범위 내에서 변화될 수밖에 없다(그림 1(b)). 이로 인해, 운전자의 다양한 성향에 똑같은 변속선도를 제공함으로써 운전자에게 반하는 결과를 초래할 수 있다.



(a) 기존의 변속선도 (b) 허용 범위

그림 1. 기존의 변속선도와 허용 범위  
Fig. 1. The standard shift map and Admissible ranges.

## III. 지능형 변속선도 결정

동적인 변속점 결정 방법은 운전자의 습관과 성향 그리고 언덕과 내리막과 같은 다양한 운전 조건에 응답할 수 있는 적응형 변속선도가 필요하다. 그림 2는 지능형 변속선도 결정 모듈의 구조이다. 지능형 변속선도 결정 모듈의 각 모듈은 운전자의 운전 경향과 자동차의 조건들에 대해 특정한 목적을 위한 계층적 구조이다.

이 모듈들은 주행 중인 차량의 부하량, 운전자의 조작으로 변화되는 차량의 상태 그리고 자동차의 구동력 확보를 통한 운전자 가속 의지를 이용하여 운전자의 운전 성향을 판단한다. 그리고 운전자의 다양한 운전 성향을 학습하여 각각 다른 운전자 요구에도 적절한 반응을 나타낼 수 있도록 변속선도의 결정에 영향을 준다.

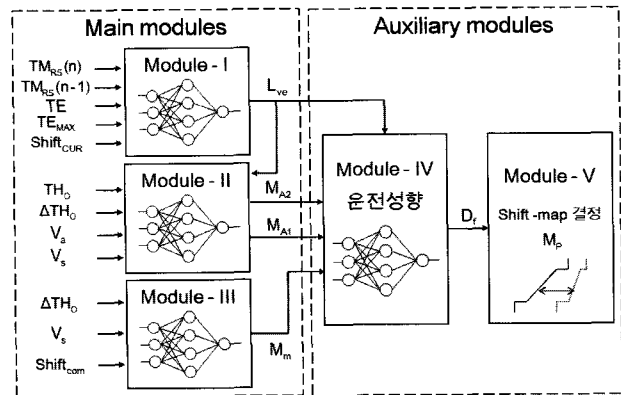


그림 2. 지능형 변속선도 결정을 위한 모듈 구조도  
Fig. 2. Module structure for decision of intelligent shift-map.

### 1. 차량 부하량 결정 모듈(Module 1)

이 모듈은 실제 차량의 주행 데이터를 사용하여 차량 부하량( $L_{ve}$ )를 결정한다. 차량 부하량은 변속기 출력 속도, 엔진 토크 그리고 최대 엔진 토크와 관계가 있다. 그래서 모듈의 입력은 변속단 출력 속도( $TM_{RS}$ ), 엔진 토크( $TE$ ), 최대 엔진 토크( $TE_{MAX}$ )와 현변속단( $Shift_{CUR}$ )이고, 학습을 위해 신경망 구조를 사용하고 역전파 학습알고리즘을 이용하였다(그림 3).

현변속단( $Shift_{CUR}$ )은 TCU에서 보내준 값을 이용하고 변속단 출력 속도( $TM_{RS}$ )는 8ms마다 센서로부터 입력 받은 데이터의 평균을 사용한다. 식 1은 변속단 출력 속도의 평균식이다. 엔진 토크( $TE$ )는 센서로 입력 받아 2개의 Loss pass filter 사용하여 변환한다.

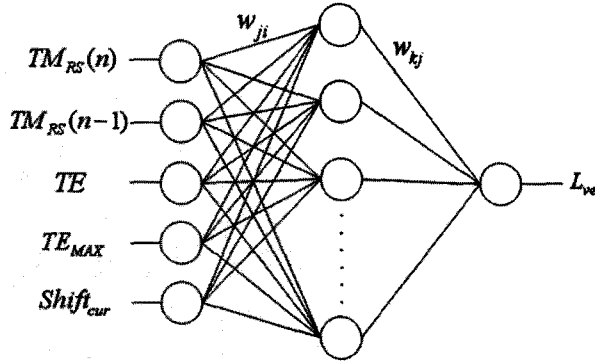


그림 3. 모듈 1에 사용된 신경망

Fig. 3. Neural network using module 1.

센서로부터 받은 값은 식 2을 이용하여 변환한다.

$$TM_{RS} = \frac{TM_{RS}(n) + TM_{RS}(n-1)}{2} \quad (1)$$

$$TE = TE_s / 9.807 \quad (2)$$

차량 부하량은 주행 저항을 포함한 엔진 부하량, 차속의 변화가 포함된 타이어 부하량 그리고 가속 여유도를 이용하여 구한다. 이들은 차량의 엔진 출력과 변속단 출력으로 구할 수 있다.

먼저, 차량 부하량 중 엔진부하량( $L_{ve-eng}$ )은 식 3에 의해 구한다.

$$\text{When } TE \geq TE_{ACC}, \quad L_{ve-eng} = \frac{TE_{ACC}}{TE_{MAX} - TE + TE_{ACC}} \quad (3)$$

Others,

$$L_{ve-eng} = \frac{TE_{ACC}}{TE_{MAX}}$$

$TE_{ACC}$ 는 가속엔진토크이고 식 4와 같다.

$$TE_{ACC} = \frac{RA \cdot r}{I_T \cdot I_F \cdot \eta \cdot t} \quad (4)$$

$RA$ :가속저항,  $I_T$ :현변속비,  $I_F$ :최종변속비,  $\eta$ :전달효율,  $t$ :토크비

가속저항( $RA$ )은 식 5로 표현된다.

$$RA = \{W + W_0 \cdot (KM_T + KM_E I_T^2 I_F^2)\} V_a \quad (5)$$

$W$ :차량중량,  $W_0$ :공차중량,  $KM_T$ :타이어회전부분중량비율,  $KM_E$ :엔진회전부분중량비율,  $V_a$ :차량 가속도  
타이어 부하량은 식 6과 같다.

$$L_{ve-tr} = \frac{VaBS}{Va\_MAX} \quad (6)$$

$VaBS$ :브레이크 감속,  $Va\_MAX$ : 최고가속도

브레이크 감속은 브레이크가 작동될 때 차속의 변화 정도로 계산된다.

가속 여유도( $K_{ACC}$ )는 식 7와 같다.

$$K_{ACC} = \frac{TE_{MAX} - TE + TE_{ACC}}{TE_{MAX}} \quad (7)$$

최종적인 차량 부하량은 식 8과 같이 가속 여유도에 의해 결정된다.

When  $K_{ACC} > 0.2$  and  $L_{ve-eng} > L_{ve-tr}$ ,

$$L_{ve} = L_{ve-eng}$$

Others,

$$L_{ve} = L_{ve-tr}$$

(8)

## 2. 운전자의 운전 조작 결정 모듈(Module II)

이 모듈은 운전자의 성향을 판단하기 위해서 운전자가 자동차를 운전할 때 변화되는 차량의 가/감속 상태를 관찰하여 운행 모드를 결정한다. 운행 모드는 동적 운전( $M_{A1}$ )과 안전운전( $M_{A2}$ )로 나눈다. 이 모듈은 운행모드를 두 개의 하부 신경망으로 구성하고 신경망은 스로틀 밸브의 개도(열림) 정도( $TH_O$ )와 스로틀 밸브의 조작 속도( $\Delta TH_O$ ), 자동차의 가속도( $V_a$ )와 속력( $V_s$ ) 정보를 이용하여 학습한다. 스로틀 밸브의 개도 정도( $TH_O$ )는 센서로부터 입력되고 스로틀 밸브의 조작속도는 식 9와 같고, 차속은 식 10으로 구한다.

$$\Delta TH_O = \frac{TH_O(n) - TH_O(n-1)}{0.01632} \quad (9)$$

$$V_s = TM_{RS} \cdot \frac{2\pi \cdot r \cdot 60}{I_F \cdot 1000} \quad (10)$$

60:타이어 시리즈(series)

그림 4는 동적모드를 판단하는 신경망 구조이다. 운전자가 동적 운전을 원한다면, 변속선도의 위치는 가속하는 동안 사용할 수 있는 충분한 파워를 제공하기 위해서 변속 지점의 변화 시간을 늦춰야 함으로 고정된 변속선도 보다 오른쪽 방향으로 이동되어야 한다. 그림 5는 안전모드의 신경망 구조이다. 안전운전 경우에, 변

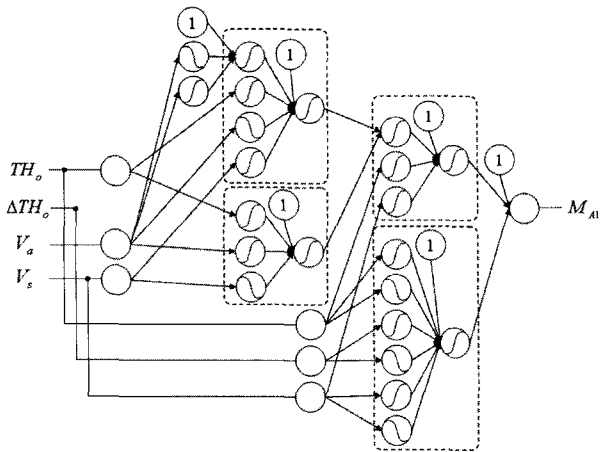


그림 4. 동적모드의 신경망  
Fig. 4. Neural network for dynamic mode.

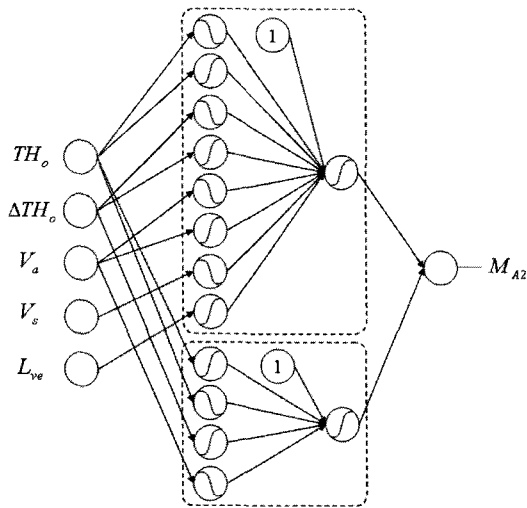


그림 5. 안전모드의 신경망  
Fig. 5. Neural network for safe mode.

속 지점의 변화 시간은 연료 소비를 절약하고 불필요한 낭비를 줄이기 위해서 빠르게 생성된다.

운전자는 주행 중인 차량의 엑셀을 밟거나 브레이크를 밟는 행동을 통해 운전자의 운전 성향을 나타낸다. 이 행동은 운전자가 동적인 운전( $M_{A1}$ )을 하는지, 경제적이고 안전한 운전( $M_{A2}$ )을 선호하는지에 대한 판단 기준이 된다. 결국 이 모듈은 운전자의 조작에 의한 차량상태를 고려하여 조작 이후 주행 모드를 예측하고 차량 주행에 반영할 수 있는 정보를 제공한다.

### 3. 가속 의지 결정 모듈(Module III)

이 모듈은 현재 스로틀 밸브의 조작 속도와 변속단, 차속을 고려하여 킥다운 상황을 감지하고 킥 다운이 감지될 때 자동차의 구동력 확보 정도를 통해 운전자가

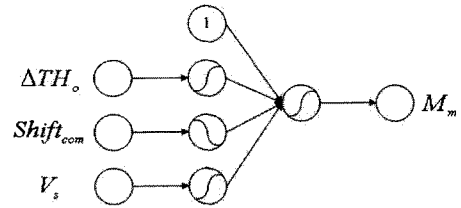


그림 6. 가속의지를 위한 신경망  
Fig. 6. Neural network for the acceleration decision.

속 의지( $M_m$ )를 판단한다. 임의의 명령 변속단에서 스로틀 밸브의 조작속도와 차속에 대한 운전자의 가속의지를 대, 중, 소로 구분하여 변속패턴에 적용하면 가속의지는 구동력 확보의 정도와 매칭시킬 수가 있기 때문이다. 이 모듈의 입력은 스로틀 밸브의 개도 변화량( $\Delta TH_o$ ) 차속( $V_s$ ), 명령 변속단( $Shift_{com}$ )이고 출력은 운전자의 가속 의지( $M_m$ )이다. 신경망 구조는 그림 6과 같다.

### 4. 운전성향 결정 모듈(Module IV)

이 모듈은 3개 모듈의 결과인  $M_{A1}$ ,  $M_{A2}$ ,  $M_m$  그리고  $L_{ve}$ 의 변화율을 고려하여 최종적인 운전 성향( $D_f$ )을 판단한다. 본 모듈은 운전자의 운전 성향을 현재 주행 상황, 차량의 상태를 고려하여 운전자의 의지에 합리적으로 반응하도록 쉬프트맵을 결정한다. 이 모듈의 신경망 구조는 그림 7과 같다.

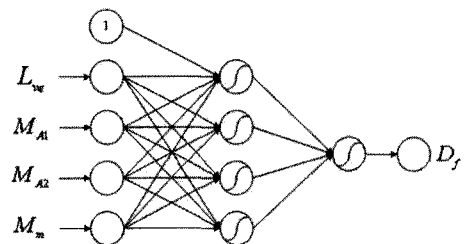


그림 7. 운전성향 결정을 위한 신경망  
Fig. 7. Neural network for driving intention decision.

### 5. 변속선도 결정 모듈(Module V)

변속선도 변화율( $M_p$ )은  $D_f$ 의 영향을 받는다. 그림 8은 2단과 3단의 고정된 변속선도와 최대 변속선도를 표현한 것이다. 점선은 운전자의 경향 및 자동차 상태가 같은 여러 조건에 의해서 계속적으로 변화될 수 있는 동적 변속선이다. 변속선의 움직임 정도는 계층적 신경망의 출력으로 얻어진  $M_p$ 에 의해 결정된다.

결정모듈에 의해 얻어진  $M_p$ 값의 범위는 자동차 부

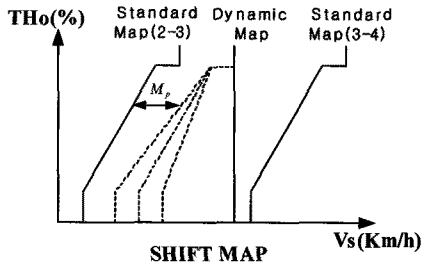


그림 8. 동적 쉬프트맵 이동도  
Fig. 8. Shift line of dynamic shift-map.

하, 운전 상태 그리고 운전 습관에 따라 0에서 1사이이다.  $M_p$ 는 식 11로 구한다.

$$M_p = (D_{ACC} + \delta)D_M + D_f(1 - D_M) \quad (11)$$

$D_M$ :경사에 관한 계수,  $D_{ACC}$ :도로형태에 관한 계수,  $\delta$ : 운전자의 반응 조작에 관한 미세조정 계수, 식 12는 변속선도의 이동 공식( $Sh_M$ )이다.

$$Sh_M = Std_M + M_p(Sh_{MAX} - Std_M) \quad (12)$$

$Std_M$ :기존 맵,  $Sh_{MAX}$ :이동 최대값  
업쉬프트 맵 상한치는 2-3단, 3-4단 스탠다드 맵을 기준으로 각각 최대값의 70%, 97%로 설정하였다.

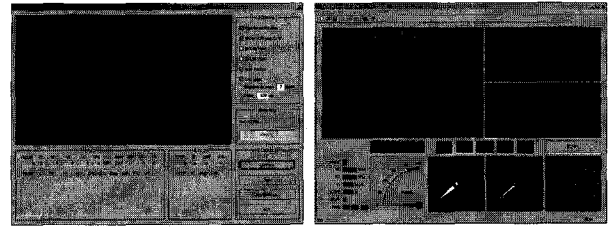
IV. 실험 및 결과

실험에 사용된 자동차는 승차인원 5명이고 배기량이 2500cc인 현대자동차의 EF소나타이다. 이 실험은 실제 운전을 통해서 운전자의 성향을 나타낼 수 있도록 속도를 반복적으로 급격히 변화시켰다.

통신 시뮬레이터는 직렬통신 방법을 사용하여 TCU와 연결하고 엔진 회전수, 터빈 회전수, 출력 회전수, 스로틀의 밸브 개도률, 엔진토크, 댐퍼 클러치, 브레이크 스위치 그리고 현 변속단의 정보를 얻는다(그림 9(a)). 지능형 변속선도 시뮬레이터는 실제 데이터를 사용하여 변속기어의 변속점을 결정하기 위한 것이다(그림 9(b)). 즉, 지능형 변속선도 결정 모듈은 변속선도의 변속선을 수정하기 위한 중요한 계수( $M_p$ )를 결정하고 변속선도를 수정한다.

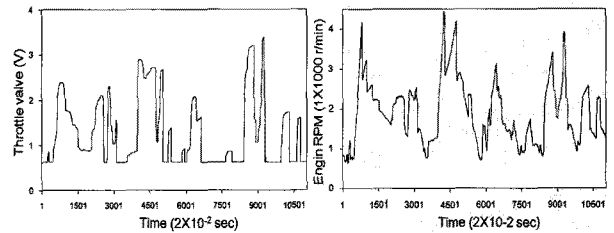
이 시뮬레이터들은 Visual C++ 6.0을 이용하여 개발되고, 윈도우 2000 등의 운영체제가 구동될 수 있는 모든 하드웨어에서 사용할 수 있다.

그림 10은 자동차의 운전에 대한 스로틀 밸브의 개도



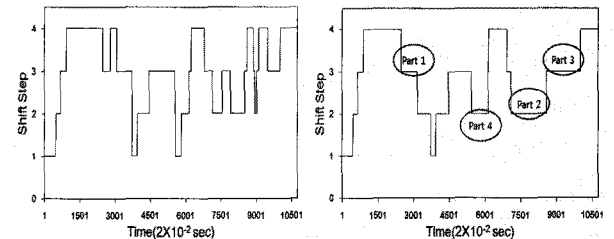
(a) PC와 TCU의 통신 (b) 지능형 변속선도

그림 9. PC-TCU 통신과 지능형 변속선도 시뮬레이터  
Fig. 9. Simulator for communication between PC-TCU and Simulation for ISM.



(a) 스로틀 밸브의 개도 전압 (b) 엔진 RPM

그림 10. 스로틀 밸브의 개도 전압과 엔진 RPM  
Fig. 10. Voltage of throttle valve opening and Engine RPM.



(a) 기존의 기어변속 (b) ISM의 기어변속

그림 11. 기존과 ISM을 적용한 기어변속  
Fig. 11. The change shift step using Typical and ISM.

전압과 엔진 RPM의 변화를 보인 것이다.

기존의 자동변속기의 변속선도와 지능형 변속선도 결정 모듈을 적용한 변속스텝을 그림 11에 보였다.

그림 11(b)의 part 1~3을 통해 운전자가 급격한 가속을 원할 때, 자동차가 토크를 얻기 위해서 현재 변속기어의 증가를 억제하거나 감소시킨다. 또한 그림 11(b)의 part 4에서는 자동차의 스로틀 밸브에 대해 속도를 유지하기 위해서 변속단을 변화시키지 않는다. 이 실험은 자동차의 속도를 변화시켰을 때 제한된 지능형 변속선도 결정 모듈이 주어진 상황에서 충분한 엔진 토크를 제공하고 변속단의 변화를 줄일 수 있음을 보였다.

운전 경향이 다른 10명의 정보를 이용하여 기존의 자동변속기의 변속단 변화와 지능형 변속선도 결정 모듈

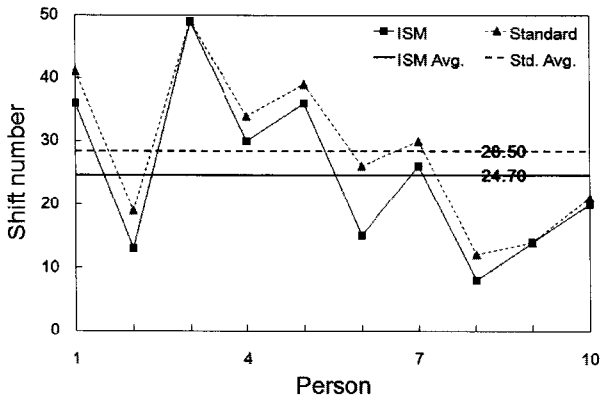


그림 12. 두 개의 변속변화 비교  
Fig. 12. Comparison of change rates in 2 shift step.

을 적용한 변속단 변화를 비교하였다(그림 12). 지능형 변속선도 결정 모듈을 적용한 변속단의 변화율은 기존의 변속단 변화율보다 13.13%가 줄어들음을 알았다.

### V. 결론 및 향후과제

본 논문에서는 운전자의 운전 성향과 자동차의 상태를 고려하여 지능형 변속선도 결정 모듈을 제안하였다. 실험을 통해, 제안된 방법을 의해 획득된 변속선도는 다양한 운전 패턴에 대하여 자동차에 필요한 토크를 제공하고 속도를 유지할 수 있고 동적 모드의 운전자들과 안전 모드의 운전자들에게 적합한 변속선도를 제공할 수 있다는 것을 보였다. 또한 지능형 변속선도 결정 모듈을 적용한 변속단의 변화율은 기존 변속단의 변화율보다 낮았다. 이 결과에서, 제안된 지능형 변속선도 결정 모듈은 자동변속의 편리함뿐만 아니라 수동변속의 특성을 모두 가짐을 알 수 있었다.

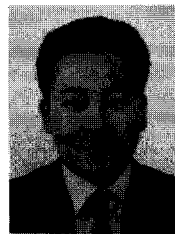
향후 연구는 자동 변속기의 변속선도를 결정하는 다른 계수들의 특성을 파악하고 적용하면 다양한 운전자에게 더욱 적합한 변속선도를 결정하고 제공할 수 있을 것이다.

### 참고 문헌

[1] K. Neuffer, "Electronische Getriebesteuerung von Bosch," ATZ Automobil-Technische Zeitschrift, Vol. 94, no. 9, pp. 442-449, 1992.  
[2] K. J. Ronald, "Automotive Electronics Handbook", McGraw-Hill, New York, 1997.  
[3] L. A. Zadeh, "Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision

processes," IEEE Trans. Syst. Man Cybern., Vol. SMC-3, no. 1, pp. 28-44, 1973.  
[4] Guihe Qin, Anlin Ge, and Ju-Jang Lee, "Knowledge-Based Gear-Position Decision", IEEE Trans. on Intelligent Transp. syst., Vol. 5, no. 2, pp 121-126, 2004.  
[5] 이봉우, 최우경, 전홍태, "Intelligent Navigation System Using Fuzzy Logic," 전자공학회논문지, 제43권 CI편, 4호, 67-72쪽, 2006년.  
[6] 김용민, 최인찬, "A Study on Location Recognition and Route Guide System for Service Robots," 전자공학회논문지, 제47권 IE편, 1호, 12~21쪽, 2010년.  
[7] G. Qin, A. Ge, J. J. Lee, "Knowledge-Based Gear-Position Decision," IEEE Trans. on Int. Transp. Syst., Vol. 5, no. 2, pp. 121-126, 2004.  
[8] S. Nagata, M. Sekiguchi, K. Asakawa, "Mobile robot control by a structured hierarchical neural network," IEEE Control Syst. Mag., Vol. 10, no. 2, pp. 69-76, 1990.

### — 저자 소개 —



**최인찬(정회원)**  
2000년 전남대학교 전기공학과 학사 졸업.  
2004년 중앙대학교 전자전기공학부 석사 졸업.  
2009년 중앙대학교 전자전기공학부 박사 졸업.

2009년~현재 한국기술교육대학교 정보기술공학부 대우교수  
<주관심분야 : 모바일 로봇, Bio-informatics>



**전홍태(평생회원)**  
1976년 서울대학교 전자공학과 학사 졸업.  
1982년 (미)뉴욕 주립대 전기 및 전자공학과 석사 졸업.  
1986년 (미)뉴욕 주립대 전기 및 전자공학과 박사 졸업.

1986년~현재 중앙대학교 전자전기공학부 교수  
<주관심분야 : 로봇학, Intelligent System>