한국공작기계학회 '98년도 추계학술대회 논문집 pp. 216 ~ 221

궤도차량용 자동변속기의 지능형변속패턴에 관한 연구

강서익*, 전의식**

A Study on the Intelligent Control Pattern of the Automatic Transmission in Tracked Vehicles

Seo-ik Kang*, Eui-sik Jeon**

Abstract

Dynamic modelling method is applied to the driving simulation which has the calculable model of engine, transmission, vehicle. And driving pattern is used for database by actual tests and analyzed in neural network system. The simulation is compared to real test results and structured to the tracked vehicle powertrain.

1. 서론

궤도차량용 변속기는 변속,조향,제동의 기능이 복합적으로 구성되어 있다. 이는 2개의 궤도를 하나의 축을 이용하여 차량의 성능을 제어하기 위하여 초기 모든 기능이 하나의 장치에 결합되는 경향을 갖게 되었다. 조향장치는 차륜차량과는 달리 궤도에 속도차를 주어서 구현하고 있으므로 조향시에는 변속 및 조향장치가 복합적으로 작동하는 형태를 취하고 있어 조향의 형태가 변속에 영향을 미칠 수 있으며 제동장치도 복합적으로 작동한다.

변속기의 제어장치가 엔진회전수, 차량속도, 주행조건 등을 고려하여 변속시점과 변속방법을 결정하므로 변속시 기어회전수 차이에 의한 변속과도특성이 나타나게 된다. 또한, 이러한 변속과도특성은 일반적으로 정상주행부하보다도 크게 나타나게 되기 때문에 소형경량화된 자동변속기 설계에서 주요인자가 되고 있으며 장기간 사용할 때에는 내구수명의 저하를 유발하게 한다. 특히 궤도차량용 변속기의 경우에는 변속장치뿐만아니라 조향장치의 기계식 구조로 인한 과도특성도 유발하게되며 과도특성에 의한 토오크변화는 기계부품의 피로수명에 영향을 주게된다.

본 연구는 기존 궤도차량의 자동변속기를 대상으로 하여 동력전달계의 수학적 모델링 방법을 제시하고 이를 토대로 전체 차량구동계에 대한 운동방정식을 유도하고, 실험데이타를 활용하여 구배로 등의 도로주행시 차량주행상태를 판단하여 운전자 의지에 부합되는 변속이 이루어지도록 하기위한 새로운 접근방법으로 신경망을 이용한 변속패턴 보정제어알고리즘을 제시하고자 한다.

2. 변속장치의 모델링

2.1 엔진의 모델링

* : 천안공업대학 자동차과

** : 천안공업대학 용접기술과

주로 주행간의 부하(throttle)에 따라 엔진토오크와 회전수(rpm)을 구할 수 있는데 변속성능 해석상에는 전부하(Full Throttle)를 고려하므로 엔진의 최대토오크를 적용한다.

엔진의 관성은 토오크컨버터가 없거나 체결(Lock-Up)된 경우에는 회전부위 등가 질량으로 관성손실이 고려되지만 체결전에는 엔진의 관성을 고려해야 한다. 엔진의 관성을 고려한 구동계는 다음과 같이 주어진다.

엔진은 차량의 기본적인 동력원으로서 차량의 속도, 외부부하 즉 주행저항에 따라 적절한 출력토오크와 회전수를 변속기에 전달한다. 엔진의 출력은 연소실내의 폭발압력에 의해 발생되어 피스톤과 크랭크 기구에 의해 왕복운동이 회전운동으로 바뀌어 나타나게 되는데 이 때 연소실의 지압선도를 측정하고 커넥팅로드의 기구학적 운동을 이용하면 엔진에서 발생하는 토오크의 변동폭을 얻을 수 있다. 또한 엔진성능실험에서 얻어진 출력선도를 이용하여 이를 중첩시켜 정상적인 상태에서의 특성을 얻을 수 있다.

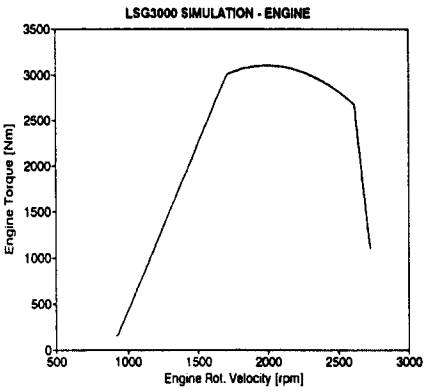

Fig 1 Engine Curve for Simualtion

2.3 토오크 컨버터의 모델링

토오크컨버터를 이용하여 엔진과 변속기를 결합하려면 부하의 특성에 맞는토오크컨버터를 선택해야한다. 토오크컨버터는 토오크비 tr 및 효율 η 의 최대값이 높고 속도비가 넓은 범위에 걸쳐 양호한 값을 갖고 입력토오크와 속도비에 따른 변화의 경향이 적당해야 한다.

토오크컨버터의 성능을 나타내는 식은 다음과 같다.

$$T_t = T_p + T_s \qquad (2.1)$$

또 효율을 η 라 하면

$$\eta = \frac{T_t\, n_t}{T_p\, n_p} \times 100\% \qquad (2.2)$$

토오크컨버터에 의한 토오크의 전달손실은 각날개에 대한 유입 충돌의 손실과 유체마찰및 기타의 손실로 나눌 수 있다. 오일이 날개에 대하여 유입하는 방향은 속도비에 따라 변한다. 따라서 유입방향이 날개의 방향과 일치하였을 때에 충돌손실이 가장 적고 유체마찰은 속도비 0 에서 최대가 되고 속도가 커짐에 따라 점차 작아진다. 따라서 충돌손실이 가장작은 부근에서 최대의 효율이 얻어져 포물선을 나타내게 된다.

토오크컨버터를 선정할때는 엔진및 부하특성에 잘 맞는 특성의 것을 선택해야 한다. 이것은 토오크비및 효율의 최대값이 크고 동시에 넓은 범위의 속도비에서 좋은값을 나타내야하는 것을 의미한다. 즉 엔진의 출력특성에 적합한 입력토오크 용량을 가지고 있고 높은 효율을 갖고 엔진의 성능이 충분히 발휘되는 것이어야 한다.

2.4 습식 다판클러치의 특성해석

정적인 조건에서의 클러치 토오크는

$$T_{CAP} = n \cdot \mu_s\, P_L\, R_m \cdot A \qquad (2.3)$$

이러한 토오크는 결합전이나 후에 변화한다. 정격토오크 용량은 보통 $P_L = P_{MAX}$ 일 때를 말한다.

체결(Lockup)후 미끄러짐 구간에서는 실제 클러치 토오크는

$$T_C = \begin{cases} n\, \mu_s\, P_L\, R_m\, A & when \quad \Omega_1 \neq \Omega \\ k(\theta_1 - \theta_2) & when \quad \Omega_1 \neq \Omega \end{cases} \qquad (2.4)$$

처음에 클러치 토오크는 작동압력에 의해 조절되지만 클러치가 결합된 후에는 댐퍼의 비틈각 $\theta_1 - \theta_2$ 에 의해 결정된다.

클러치 작동의 수학적 모델은 다음과 같다.

Phase I (During Engagement, Vehicle at rest)

$$\Omega \neq \Omega_1, \quad \Omega_2 = 0$$

$$\begin{aligned} I_1 \frac{d\Omega_1}{dt} &= T_1 - T_C \\ T_C &= k\theta \\ T_C &< T_2 \end{aligned} \tag{2.5}$$

Phase II (During Engagement, Vehicle moving)

$$\Omega \neq \Omega_1$$

$$\begin{aligned} I_1 \frac{d\Omega_1}{dt} &= T_1 - T_C \\ I_1 \frac{d\Omega_2}{dt} &= T_C - T_2 \\ T_C &= k(\theta_1 - \theta_2) \end{aligned} \tag{2.6}$$

Phase III (After lock-up)

$$\Omega = \Omega_1$$

$$\begin{aligned} I_1 \frac{d\Omega_1}{dt} &= T_1 - k(\theta_1 - \theta_2) \\ I_1 \frac{d\Omega_2}{dt} &= k(\theta_1 - \theta_2) - T_2 \\ T_C &= k(\theta_1 - \theta_2) \end{aligned} \tag{2.7}$$

미끄러짐 구간에서의 발산하는 단위면적당 클러치에너지는

$$q = \frac{T_c(\Omega_1 - \Omega)}{A} \tag{2.8}$$

전체발산에너지는 그림 2와 같으며 다음식과 같이 나타낼 수 있다.

$$Q = \int_0^{t_s} A\, q\, dt \tag{2.9}$$

변속기에서 각 변속시의 결합되는 클러치(On-Coming Element)와 해제되는 클러치(Off-Going Element)가 흡수하는 에너지를 보면 다음과 같다. 상단변속(Up- Shift) 시 On-Coming Element 는 엔진의 속도를 강제로 감소시켜야 하므로 엔진의 속도감소에 의한 관성에너지와 변속중 엔진자체의 에너지를 흡수하여야한다.

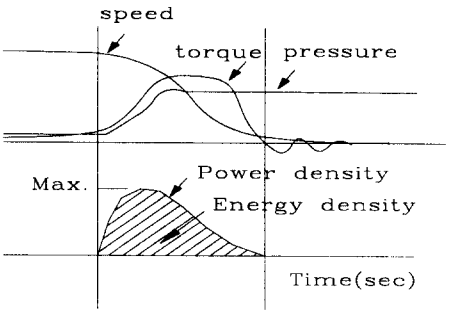

Fig 2 Clutch Operation between Shifting

변속시 Up-Shift의 경우 출력 토오크가 변하는 모양은 관성영역(Inertia Phase)에서의 토오크 변동량이 토오크 영역(Torque Phase)에서의 변동량보다 큼을 알 수 있고 이것은 운전자에게 변속충격을 느끼게하는 주요인으로 알려져 있다.

2.5 변속제어장치

변속기의 구조는 크게 토오크 컨버터와 변속기어부, 조향기어부, 종합기어부로 이루어져 있으며 부수적으로 6개의 기어펌프로 이루어진 유공압공급부문, 변속제어부문, 조향제어부문 및 팬제어부문으로 구성되며 이들은 모두 변속기의 본체내부에 설치되어 있다.

변속제어는 전기유압시스템으로서 레버위치등 외부신호에 의해 해당 솔레노이드밸브를 구동한다. 이 변속제어시스템은 여섯 개의 클러치를 분리/결합시키는 클러치작동 유압회로와 엔진 드로틀 상태에 따라 압력을 2단으로 조절하는 압력변조 유압회로 그리고 차량속도,

선택레버 위치등 외부신호에 대응한 변속단수를 결정하고 출력을 내보내는 전자제어 유니트(Automatic Transmission Controller : ATC)로 구성되어있다.

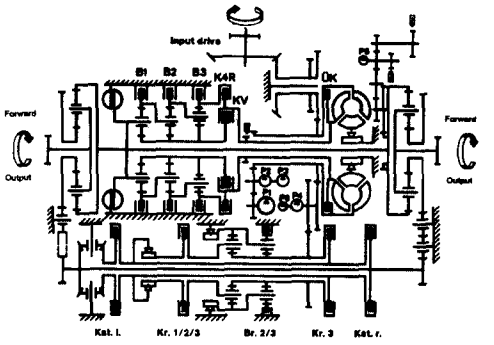

Fig 3 Schematic Drawing of Transmission

유압회로들은 전자제어유니트의 출력신호로 구동되는 솔레노이드밸브와 편의상 이름을 붙인 A,B,C,D밸브등이 조합된 모두 5개의 복합밸브로 구성되어 있다. 유압펌프는 변속기내부 기어열과 연결되어 엔진의 동력으로 구동되며 시스템 압력은 릴리프밸브에 의해 14-15 bar 정도로 유지된다.

전자제어유니트의 블록다이아그램은 다음 그림과 같다.

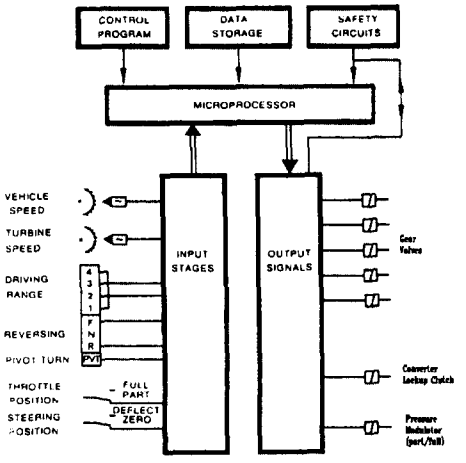

Fig 4 Transmission Control Unit

전자제어유니트는 인텔사의 one-chip micro computer 8035HL에 6MHz의 클럭을 사용하였으며 MD8243 I/O Expander 를 사용하여 출력포트를 확장하였다.

EPROM 2732를 프로그램 메모리로 사용하였고 12bit binary counter4040B를 사용하였다. 변속레버와 드로틀로부터의 입력신호는 마이크로프로세서의 입력포트로 입력되고 변속기 출력속도는 4538B를 거치며 터빈속도와 함께 마이크로프로세서의 인터럽트 단자로 들어간다. 보호회로는 PROM과 decode를 사용하여 기어변속용 솔레노이드밸브가 오작동되거나 프로그램이 비정상적으로 수행될때 마이크로 프로세서를 초기화 시킨다.

차량의 조종석에 설치된 선택기는 방향선택레버(Direction Lever)와 속도선택레버(Speed Selection Lever)로 구성되어있다.방향선택레버는 진행방향을 선택하기위한 것으로 전진, 중립, 후진과 선회등 4개의 선택위치를 갖고 있으며 속도선택레버는 주행속도범위를 선택하는 것으로 4개의 속도범위가 있다. 또한 선택기에는 안전장치로서 중립잠금기능이 있어서 일정한 조건하에서 방향선택레버가 능동적으로 잠기게 된다.

정상적인 작동상태에서는 외부 운전상황에 따라 전자제어 유니트에 의해 변속여부가 자동으로 결정되고 솔레노이드 밸브에 의해 작동되지만 비정상 상태에서는 비상레버로서 전진 2단 / 후진 1단으로 고정시켜 작동하게 하는 응급조치기능이 있다.

운전자의 의도에 따라 차량속도를 조절하기위해서 엔진부하와 주행부하가 일치하여야 하며 이때 엔진속도와 요구사항을 일치시키기 위하여 변속이 필요하다. 변속의 기본목적은 1) 차량의 운전속도 영역확대, 2) 구동손실의 감소, 3) 가속성능의 향상 세가지로 요약된다.

이러한 목적을 달성하기위해서 위해서 각 운전상황에 따라 적절한 판단이 이루어져야하는데 판단용인으로는 첫째 어떤 운전조건에서 상향변속(upshift) 또는 하향변속(downshift)을 할 것인가 하는 변속시점과 둘째 분리/접속 클러치의 작동타이밍 그리고 운전자의 주행배경 즉 경제성/가속성향상등이다.

2.6 신경망이론

신경망이론은 인간의 두뇌와 같이 생각하며 판단하며 인식할 수 있는 능력을 구현하기위해 인간의 뇌의 정보처리 메카니즘을 수학적으로 표현한 이론으로서 다수의 원소가 동시에 작동하는 병렬처리 기계처럼 하드웨어 및 소프트웨어적인 병렬 분산 처리를 하는 시스템이며 다른 환경에 맞도록 변화시킬 수 있는 학습능력을 갖고 있다. 또한 모형개발에 있어 특별한 구조나 매개변수 산정, 자료의 변환 등이 필요하지 않고 자료의 축적에 따라 학습을 통하여 모형의 예측능력을 향상시킬 수 있다. 이러한 특징으로 임의성이 많은 영상신호처리, 패턴인식, 시스템제어, 예측 및 시계열 분석, 최적화등에 활발히 적용되고 있다.

다층신경망 모형은 입력자료를 받아들이는 입력층, 결과를 나타내는 출력층 그리고 두층사이에 은닉층으로 구성되어 있으며 이 층을 결합하는 점을 시냅스(synapse)라하고 이 시냅스의 연결강도 변화에 따라 출력이 결정되어 진다.

다층신경망 모형에서 시냅스의 연결강도는 모델에 따라 미리 계산에 의해 주어지는 경우와 학습에 의해 연결되는 경우가 있으며 본 연구에서의 연결강도는 임의의 초기값에서 계속적인 개선이 이루어지며 적절한 연결강도를 구하는 학습(learning)과정을 사용하였다.

다층신경망 모형에서는 입력층에서 은닉층으로 또는 은닉층에서 출력층으로 연결될 때 연결강도의 벡터들과 곱해져서 특정한 출력함수를 거쳐 출력을 내게 되는데 이 때 사용되는 출력함수(또는 전이함수)는 대표적인 비선형 함수이며 가장 많이 사용되는 로그-시그모이 함수를 사용하였으며 다음식과 같이 정의할 수 있다.

$$g(x)=\frac{1}{1+\exp(-x)} \quad (2.10)$$

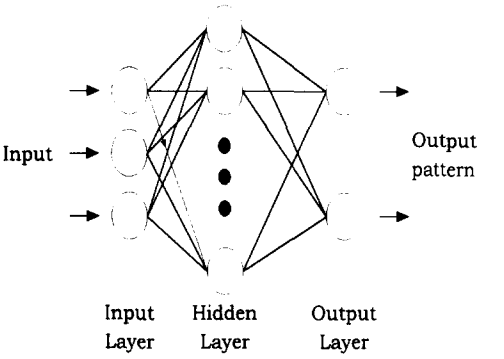

Fig 5 Multilayer neural network structure

역전파 알고리즘

다층구조의 신경망에서는 각 뉴런과 각 층의 모든 뉴런에 임계값사이에 연결 가중치를 주기 위해서 학습 알고리즘이 필요하다. 본 연구에서는 학습 알고리즘으로 역전파 알고리즘을 사용하였다. 역전파 알고리즘은 입력층의 각 유니트에 입력패턴에 주어지면 이 신호는 각 유니트에서 가중값에 의해 변환되어 은닉층으로 연결되고 마지막에 출력층으로 전파해 나가는데 이 때 네트워크에서 출력된 신호패턴이 목표패턴과 일치하지 않을 경우 역방향인 출력패턴에서 목표패턴으로 오차의 값들을 감소시킬 수 있도록 네트워크의 연결강도를 조절하여 학습하는 방법이다. 일반적으로 역전파 알고리즘은 주어진 입력과 출력에 대한 연결강도를 구하기 위하여 비용함수를 이용한다.

$$E(W)=\frac{1}{2}\sum_{i=1}^{j}(\xi_i-O_i)^2 \quad (2.11)$$

여기서

ξ_i : 기대 출력값

O_i : 계산 출력값

학습과정에서 발생할 수 있는 지역최소값(local minima value)문제와 오차를 적게해서 수렴속도를 빨리하여 학습속도를 향상시키기 위하여 최적화 기법인 경사하강법을 사용하였다.

3. 적용 및 고찰

작성한 시뮬레이션 프로그램을 이용하여 연구대상 차

량의 변속시 동적특성을 해석하였다. 특히 시험결과를 참고로 하여 엔진의 토오크와 동력전달손실을 고려함으로써 개선된 결과를 구하였다.

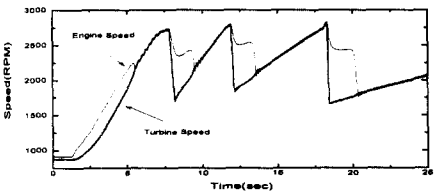

Fig 6 Engine and turbine speed during upshifting.

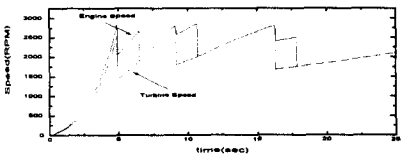

Fig 7 Engine and turbine speed(simulation).

본 연구에 제시한 신경망의 입력은 부하도, 차속, 조향, 변속, 구배 5가지로 구성하였다. 이것은 각종 센서를 통하여 필터를 거쳐 입력변수 연산을 통하여 회로망의 첫 번째로 입력된다.

컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 학습된 신경망의 각 노드간 weight값, error율, 학습횟수를 조사하여 적정한 학습이 되었는지를 확인한다.

4. 결론

본 연구에서는 궤도차량용 변속기 제어를 위하여 신경망을 이용한 적응적인 제어알고리즘을 제시하였다. 본 연구에서 제시된 알고리즘을 적용하여 언덕길과 내리막길에서 발생하는 변속의 빈번한 작동이 제거되고 불필요한 변속을 하지 않음으로써 그 성능이 입증되었다. 이는 궤도차량에서도 불필요한 변속을 방지함으로써 차량의 연비향상, 안정된 구동력확보, 배기가스저감, 자동변속기의 수명연장 등을 기대할 수 있다. 실 적용을 위해서는 더욱더 많은 시험을 통하여 신뢰성있는 데이터와 안정된 알고리즘이 확보되어야 할 것이다.

참고문헌

[1.] W.Steeds, "Tracked Vehicles", Automobile Engineer, 1950.

[2.] St.Pott, "The Turning Resistance of Tracked Vehicles-Adams Simulation Compared to Field Measurements and Analytical Models" .

[3.] "Transmission System LSG 3000 Training Guide", ZF, 1984.

[4.] G.Pannier, "Electronic Control of Automatic Transmission ",SAE 820392.

[5.]G.G.Lucas, "Road Vehicle Performance Method of Measurement and Calculation", Gorden and Breach Science Publishers, 1986.

[6.] T.Ishihara, "A Study of Hydraulic Torque Converters", report of Institute of Industrial Science, University of Tokyo Vol.5, No.7, 1955.

[7.] T.Ishihara, "An Experimental Analysis of Fluid Flow in Torque Converter", SAE 830571.

[8.] 신경망과 퍼지를 이용한 차량의 자동변속기 변속패턴 제어알고리즘, 광운대학교, 최경남