

변속장치의 전자제어화 동향

— 변속제어 알고리즘을 중심으로 —

Trends of Electronic controller in Power Transmission System

— On the Shift Control Algorithm —

이 교 일*, 정 현 술, 정 순 배**, 강 지 윤**
K. I. Lee, H. S. Jeong, S. B. Jung, J. Y. Kang



정 현 술
• 1959년 7월생
• 자동제어
• 정회원, 서울대학교 정밀기계
설계 공동 연구소

1. 서 론

전자 기술의 눈부신 발전과 함께 이를 차량에 적용하려는 시도가 계속되고 있으며 이를 통한 연료 경제성 및 동력 성능의 향상, 승차감 및 조종성 개선, 배출 가스 제어 및 기어 변속 품질의 개선을 피함과 동시에 신뢰성, 보수 유지성 및 경제성 향상을 이루어 나가고 있다.

특히 자동 변속기에 있어서 전체적인 성능 개선을 달성하려면 구동 성능(Driveability) 향상을 위해 최적 변속 시점 및 록업 시점 결정 및 클러치 압력제어가 요구되며, 가속/동력 성능의 향상을 위해서는 기어비 범위의 확대와 고속 고토크 엔진의 사용과 엔진/변속기의 종합 제어가 요구된다. 또한 변속기 구동계의 효율을 증대시키기 위해 소형 경량화는 물론 가변용량형 펌프를 사용한 동력손실의 감소 그리고 신뢰도를 향상시키기 위한 FAIL-SAFE 설계 및 자기 진단기능의 확대 등이 요구되고 있다.

이러한 요구 사항을 만족시키기 위해서 전자 제어 시스템은 크게 다음과 같은 기능들을 내포하고 있어야 한다.

- 최적 변속 시점 결정
- 최적 록업 시점 결정
- 변속 품질 제어
- 엔진과 변속 장치의 종합 제어
- 고장 진단 기능

그리고 전자 제어 시스템은 다양한 환경하에서 작동이 되며 엔진, 구동계 등 다양한 조합의 동력 전달 장치에 적용이 되기 때문에 다음과 같은 설계 목적하에서 구성되어야 한다.

- 다른 제어계와 인터페이스가 가능하도록
- 설계 및 제어 변수의 수정이 용이하도록
- Actuator가 신뢰성 있고 간단하게
- 외부 환경 변화 및 마모에 대해서도 성능 유지할 수 있도록
- 새로운 기능의 추가가 가능하도록

본 논문에서는 전자제어시스템의 변속제어 알고리즘이 포함해야 할 변속시점 결정방법, 록업제어 및 변속품질 제어에 관련된 기존의 적용방법과 발달과정, 그리고 앞으로의 발전방향을 고찰한다.

2. 변속 시점

변속기의 본래 목적인 엔진의 동력을 차량

* 서울대학교 기계설계학과

** 서울대학교 대학원 기계설계학과

주행에 최대로 전달시키기 위해서는 차속도, 엔진속도, 엔진스로를 개도 등 운전 상태를 고려한 최적의 변속 시점 결정이 매우 중요하다. 변속 시점은 주로 연료 경제성 및 동력성능의 두가지 관점에서 최대 효율을 얻을 수 있도록 이론적 해석, 시뮬레이션 및 실차 실험 결과를 토대로 결정된다.

변속 시점을 결정하는 인자로서 엔진 속도가 주변수인데, 엔진속도만 고려한 변속방법은 간단하면서 변속 회수가 적어지는 반면에 엔진 소음이 크고 연료 소모가 많은 단점이 있어 이를 보완하기 위해 엔진 스로틀 상태를 함께 고려하여 결정하는 방법이 많이 사용된다. 그리고 운전자가 강제적으로 하향 변속을 할 수 있도록 Kick Down 기능을 추가한 경우도 있다.

이러한 변속 시점 결정 방식으로서 다음과 같은 것들이 사용되고 있으며 각각의 장단점과 특징은 다음과 같다.(25)

- 1) Fixed Shift Point Modulation
 - 스로틀개도에 무관하게 변속하므로 소음과 연료소모가 크다.
- 2) Divergent Modulation
 - 상향변속과 상향변속간의 히스테리시스 가 크므로 변속횟수가 적으나, 스로틀개도가 클때 동력손실이 크다.
- 3) Divergent Modulation With Detent Shift
 - 스로틀개도가 클때 동력손실이 적고, 연비가 적다.

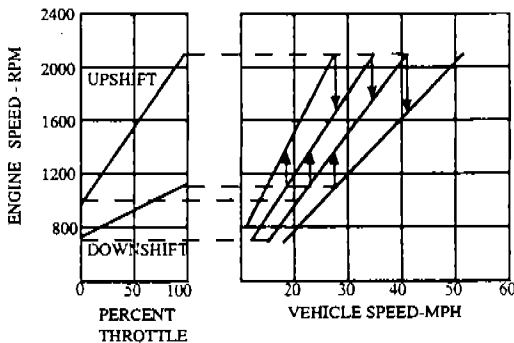


Fig.1 Range Shift Pattern with Divergent Shift Modulation

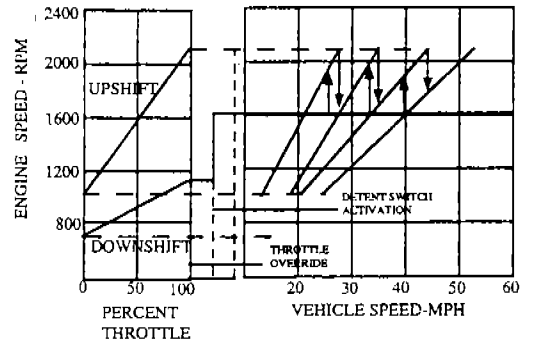


Fig.2 Divergent Shift Modulation and Through-Detent Operation

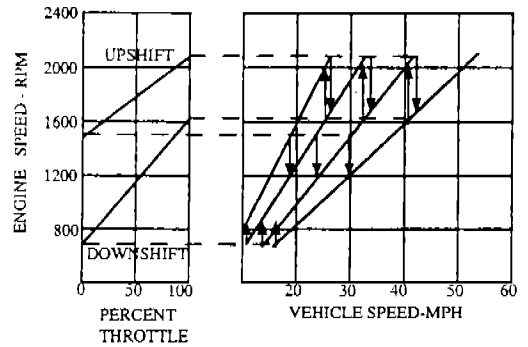


Fig.3 Range Shift Pattern with Convergent Shift Modulation

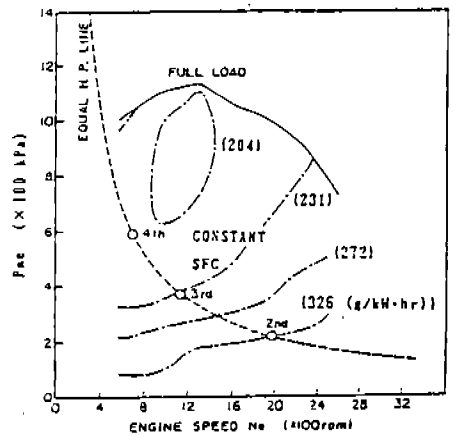


Fig.4 SFC DATA MAP

- 스톱클레드가 적을 때 변속횟수가 적으므로 시가주행에 적합하다.

엔진의 연비를 고려한 방법으로서, 주행부하를 엔진 속도와 엔진의 BMEP(Brake Mean Effective Pressure)를 측정하여 계산한 후 사용 가능한 기어비 중에서 연료 소모율이 최소인 기어비를 선택하는 방법이 제시되었는데, 약 2%의 연비 개선 효과를 거두었다.^{26,51)}

그런데, 최적 기어를 선택함에 있어서 정상상태의 엔진 성능 및 차량 구동조건을 고려하여 변속시점을 차량 속도와 스톱클레드에 따른 함수로 구하고 있는데 실제 주행시 또는 변속시 차량은 동적인 상태에서 주행하고 있으므로 정적 특성곡선만으로 결정하는 것은 문제가 있다. 실험결과 정적인 조건과 동적인 조건을 기준으로 한 속도의 차이가 최대 13%까지 차이가 나므로, 이러한 동적인 효과를 고려하기 위하여 차량의 가속도를 새로운 변수로 추가하여 연비 개선 효과와 동력 성능 향상을 하는 방법이 제시되었다.²⁷⁾

또한 변속 시점을 운전 상황이나 운전자의 의도에 적절히 대응할 수 있도록 일반적으로 Economy Mode, Power Mode, Manual Mode, Hold Mode, Snow Mode 등이 사용된다. 이 중

에서 Economy Mode와 Power Mode를 Auto Mode로 묶어서 가속 페달의 작동 속도에 따라 모드가 선택되도록 한 경우도 있다.^{26,32,35)}

3. 록업 클러치의 제어

록업 클러치의 장착은 토오크 컨버터의 효율을 높이는 측면에서 이루어졌다.¹³⁾ 그러나 록업 클러치에 의해 펌프 축과 터빈 축이 직결될 때 차량은 큰 부하의 과대 토오크를 받는다. 이러한 충격은 차량의 승차감을 떨어뜨리므로 록업 클러치를 장착한 이후, 클러치 결합에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 이에 대한 연구로서는 직결시의 토오크 변동을 흡수하는 방식에 따라, 수동변속기와 같이 댐퍼 스프링을 이용하는 재래식 타입⁸⁾, 원심 클러치를 이용한 타입⁹⁾ 약간의 슬립을 허용함으로써 토오크 변동을 흡수하는 슬립제어 타입^{10,11)} 등이 있다.

원심 클러치를 이용하는 경우에는 외부로부터의 제어는 불필요하게 되고 종래의 자동변속기의 토오크 컨버터와 직결하는 것이 비교적 용이하다. 그림 6은 원심 클러치를 록업 클러치로 사용하는 경우의 한 예를 보여주고 있는데, 원심 클러치의 결합시에는 역댐핑(Negative Damping)에 의한 자기강제진동(Self-excited Oscillation)의 현상이 나타날 수 있다.¹²⁾

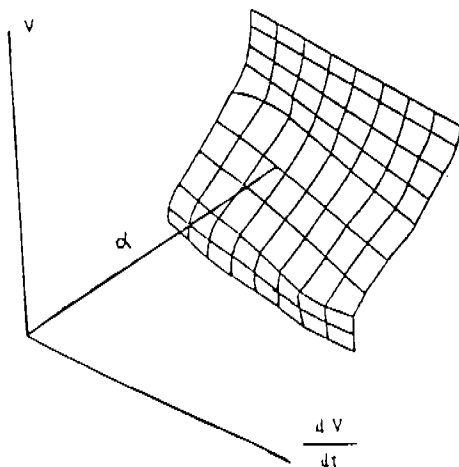


Fig.5 The 3-Parameter Controlled Shift Schedule for the Optimum Fuel Economy

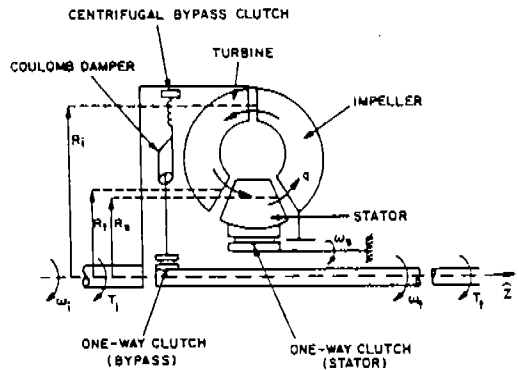


Fig.6 Schematic of Torque Converter with Centrifugal Bypass Clutch⁽²²⁾

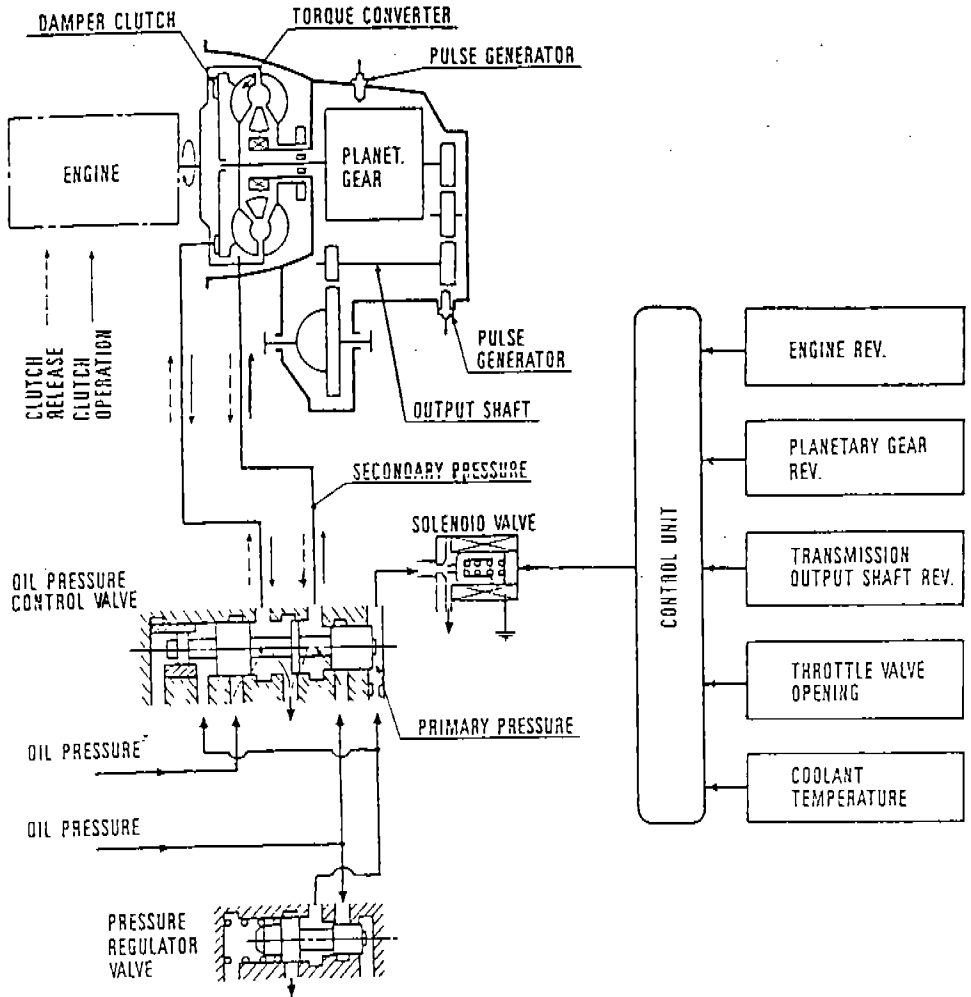


Fig.7 Lock-up Clutch Control System⁽²¹⁾

슬립제어 타입은 엔진회전, 기어위치, 스로틀 개방 등에 따라 록업 클러치의 부하 압력을 조정하여 클러치를 조금씩 미끄럼시킴으로써 엔진으로부터의 토크변동을 흡수하는 방식이다. Fig.7은 록업 클러치의 미끄럼량을 제어하기 위한 시스템 선도이다.¹¹⁾

위의 양자를 조합한 타입은 댐퍼스프링에 VAM(Vibration Asorbed Mechanism) 기구를 설치한 것이 있다. 이 VAM은 록업 클러치 피스톤에 장착되어 토크 컨버터의 허브(Hub)와의 위상 차에 의해 VAM 오리피스에 의해 엔진 토크가 낮을 때에는 VAM 오리피스를 열어 놓고,

엔진 토크가 높을 때에는 위상의 차이로 오리피스를 닫는 가변 오리피스로 되어 토크 변동을 흡수한다.¹⁴⁾

4. 변속품질 제어

변속과정에서 토크와 회전속도의 변화는 필연적으로 나타나게 된다. 그런데 변속기 각 요소의 토크 변동에 영향을 미치는 인자로서는 차체 유효관성모멘트, 주행저항 토크 및 클러치 토크 등이 있는데, 이 중에서 클러치 토크의 특성이 변속기 각 요소에 가장 큰 영

향을 미친다. 그리고 속도의 변화는 주로 엔진의 스톱 정도에 크게 영향을 받음을 알 수 있다.

- 1) 그러므로 변속시의 속도와 토오크의 변화를 줄이기 위해서는 외부 주행 조건(주행 저항 토오크 및 차량속도)과 엔진 상태에 따른 최적의 기어비를 결정해야 하며
- 2) 클러치가 결합된 때의 토오크의 급격한 변화를 완화시키기 위해 엔진 스톱을 제어 가 필요하다.
- 3) 또한 특히 하향변속시에는 클러치의 결합 시점에 따른 토오크 변화양상이 달라지므로 적절한 Shift Timing이 이루어져야 한다.
- 4) 그리고 클러치에 가해지는 작동 유압이 과대하면 최대 토오크가 과대하여 지고, 압력이 작아지면 최대 토오크는 감소되나 미끄럼상태가 길어져서 변동 토오크의 작용시간이 길어지며, 압력이 과소하면 완전한 결합이 이루어지지 않는다. 따라서 최대 토오크의 크기를 감소시키면서 짧은 시간 내에 완전한 결합을 할 수 있도록 클러치에 작동하는 압력을 변조시킬 필요가 있다.

자동 변속기의 변속 요소로서 다판 클러치, 브레이크 밴드, O/R(Overrunning)클러치, 콘(Cone) 클러치 등의 사용이 가능하지만 여러 차량 또는 넓은 범위의 엔진 코트 용량에 적용하기 쉬운 다판 클러치가 주로 사용된다. 그런데

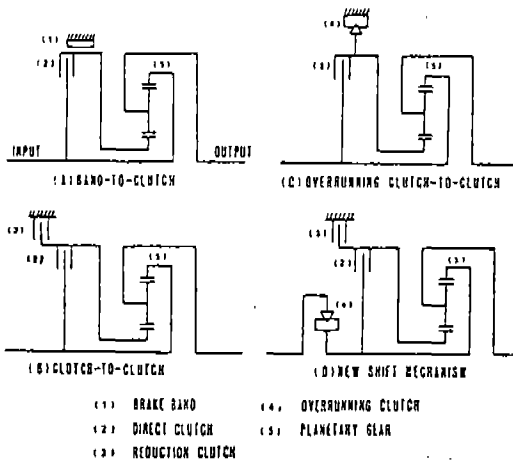


Fig.22 Shift Mechanism

이러한 클러치-클러치 변속 기구는 변속시 접속/분리 타이밍 제어가 어려워 1970년대에는 일반적으로 O/R 클러치를 적용하였으나 변속기의 무게 및 길이가 증가하는 단점이 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 O/R 클러치를 입력측에 설치하여(Fig.22 참조) O/R 클러치-클러치 변속으로 바꾸고 클러치 접촉시간을 타이밍 밸브로서 조절함으로써 차량속도와 터빈속도의 동기를 맞추었다.²⁹⁾

그런데 Friction-to-Friction 변속에 대한 연구가 진행되면서 부드러운 변속의 주원인이 클러치 용량, 마찰 계수, 변속시의 기어비 차이와 클러치 작동압력 등임이 밝혀짐으로서 다음과 같은 클러치 용량 변조 방법이 사용되었다.²⁹⁾

- 1) 오리피스
- 2) 어큐뮬레이터
- 3) 주 공급라인 트리머
- 4) 클러치 라인 트리머
- 5) 스톱 변조 트리머

또한 새로운 전기/유압 액츄에이터로서 비례 제어 밸브와 고속응답 듀티제어 밸브 등의 발달로 인해 1980년대부터 이를 클러치 압력 제어에 이용하기 시작하였다.^{37,39)}

토오크 컨버터에 속도 및 토오크 센서를 부착하여 변속시 속도, 기어비 및 차량부하에 따른 필요토오크량을 계산하여 이 값에 해당하는 클러치 압력을 PWM(펄스폭 변조)로서 구현하고 제어기를 아날로그 방식에서 디지털 마이크로

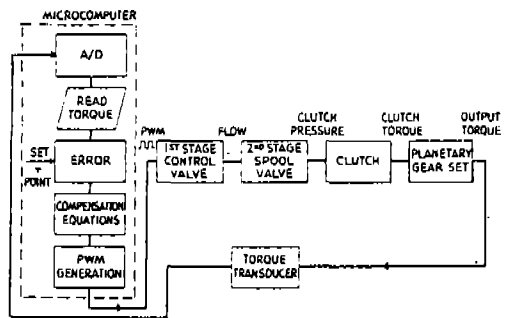


Fig.23 Diagram of Closed Loop Torque Control System

컴퓨터를 이용함으로써 시스템 구성은 단순화하고 융통성을 부여하였다.³⁰⁾

1980년대에 들어서 마찰-마찰변속이 일반화되면서 O/R 클러치가 불필요해지고, 제어기의 구성은 마이크로 컴퓨터의 사용이 일반화되어 변속시점과 변속품질의 동시제어가 필수적인 기능이 되었으나 각 제작사마다 방법상의 차이가 매우 크다.

각 형태의 변속시 미리 정해진 형태의 명령 신호를 쫓아가도록 출력측 토오르크를 피드백시켜 폐회로 토오르크 제어시스템을 Adaptive Gain Scheduling Algorithm으로 구성하여 클러치의 타이밍과 클러치의 용량을 제어하였다.³¹⁾

변속영역을 확대시킨 O/D(Overdrive)기구의 적용 및 동력손실 감소를 위한 정밀한 록업 클러치 제어가 실시되면서 변속시 클러치의 마찰에 흡수되는 에너지가 구동축의 에너지와 엔진의 연소 에너지라는 점에 착안하여 엔진 속도 변화에 따라 점화시간을 일정시간 동안 지연시킴으로서 토오르크를 감소시키고, 공기 흡입량, 엔진 속도 및 토오르크 컨버터 슬립량으로부터 입력토오르크를 계산하여 클러치 압력을 적절히 제어한 경우도 있다.^{32,46)}

그런데 변속시 입력축의 속도 변화로부터 출력토오르크를 유추할 수 있으므로 클러치에 작용하는 압력을 솔레노이드 밸브로 제어하여 토오르크 센서없이 변속형태에 따른 목표치에 접근하도록 입력축의 속도를 제어하고, 변속시의 충격을 완화시키기 위해 전변 변속시 습득한 데이터로부터 적절한 초기압력을 변속전에 미리 설정시키는 피드백 Learning제어를 사용하였다.³³⁾

그리고 유압 공급원인 펌프를 가변 용량형으로 변경하여 스로틀 개도에 따라 요구되는 최소압력으로 라인압력을 제어함으로써 동력손실을 최소화시키고 온도변화 및 마찰계수의 변화에 적응할 수 있는 Adaptive Learning 제어를 적용한 예도 있다.³⁵⁾

토크 컨버터 안에 내장된 록업 클러치는 직결 구동을 가능하게 하므로 토크 컨버터 내의 미끄럼이 없이 연비 향상과 정숙한 운전을 얻을 수 있지만, 저속 영역에서의 록업은 엔진의 토

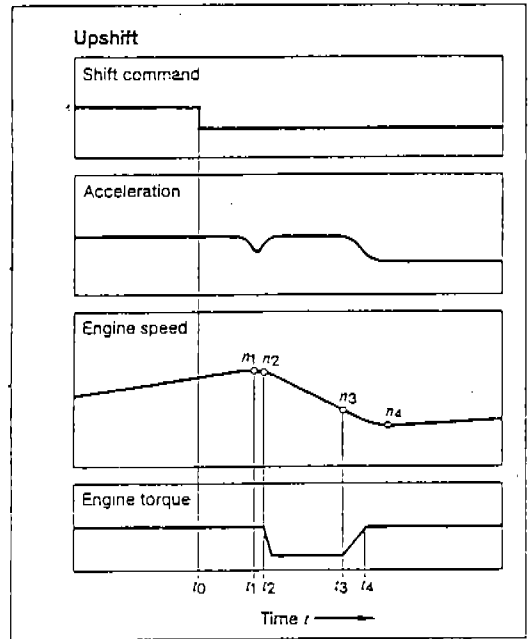


Fig.24 Schematic of the Electronic Control Unit

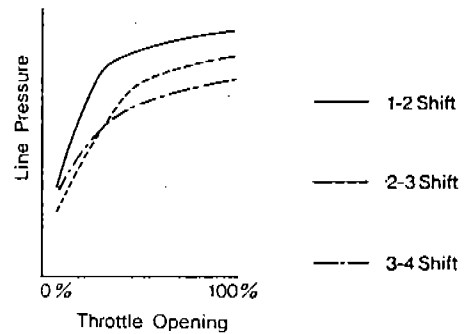


Fig.25 Line Pressure VS. Throttle Opening

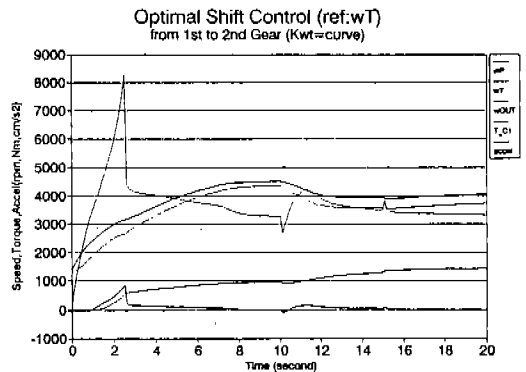


Fig.26 Electronic Control System Configuration

표 1 Shift Quality Control Methods

기준 입력	제어방식	센서	액츄에이터	비고
토오크(기어비, 속도, 부하로 계산)	폐회로 디지털	토오크 속도	2단 압력 제어밸브	Borg-Warner
토오크(변속 형태, 즉 상·하향과 부하상태로 결정)	폐회로(lead-lag보상기) adaptive gain	토오크 속도	2단 압력 제어밸브(1단 : PWM)	Borg-Warner
입력토오크(공기 흡입량, 속도, 슬립량으로 계산) 점화지연시간(엔진속도의 변수)	폐회로 개회로(간접적 손실, jerk제어)	엔진속도 공기흡입량 터빈속도 스로틀 엔진속도	비례제어 밸브 2단밸브	BOSCH
클러치압력(이상적 토오크 패턴으로 결정)	폐회로	스로틀 속도	2단밸브	Komatsu
입력축속도 클러치 초기압력	폐회로(learning)	입력속도 압력	2단밸브(1단 : PWM)	Mitsubishi
펌프용량(스로틀의 변수), 클러치압력	폐회로(adaptive learning)	압력스로틀	2단밸브(1단 : PWM)	Nissan

오르변동을 구동계에 직접 전달하기 때문에 서어징(Surging)현상을 일으켜 록업의 장점을 감소시킨다. 따라서 록업 클러치의 전자 제어는 변속점 및 변속 타이밍의 제어와 함께 전자 유압 제어로서 자동 변속기의 성능을 보다 개선시킬 수 있다.

토오크 컨버터에 록업 클러치 장착이 일반화되면서 최적의 록업 시점 결정방법에 대한 연구와 함께 스로틀 개도가 클 경우 록업 클러치가 빈번하게 작동되므로 부드러운 접속을 이룰 수 있도록 피드백 제어를 한 반면, 록업 클러치를 저속에서 사용하여 효율을 증대시키면서 엔진으로부터 전달되어 오는 진동을 토오크 컨버터 내에서 흡수할 수 있도록 하는 슬립제어를 적용하기도 한다.^{33,35,44)}

Prime Mover로서 디젤 또는 가솔린 엔진의 사용은 앞으로도 계속 지속될 전망이지만 엔진 효율의 증대 및 고토오크화를 피하면서 터보차저(Turbo Charger)와 Aftercooler의 사용이

확대되고 연료분사, 점화시기, 무부하 속도 및 엔진속도 및 배기가스제어 등이 종래의 기계식에서 전자 제어화되고 있다.

그리고 Peaky 토오크 커브의 엔진 사용 증가 및 넓은 범위의 기어비 사용으로 인해 높은 토오크 용량의 변속기에 대한 요구로서 차량을 엔진 성능 곡선에서 최대 연료 효율을 유지하면서 구동시킬려고 노력하고 있다. 따라서 엔진/동력전달 장치를 하나의 시스템으로 보고 폐회로 제어시스템을 구성해 나가는 추세이다.³⁶⁾

기존의 연료분사 및 점화시간 제어용 전자시스템에 정속한 변속을 실시하기 위해 센서 및 액츄에이터를 확장하여 클러치 압력제어 및 점화시간 지연으로 엔진 토오크제어를 하였다.³²⁾

반면에 변속 제어용 전자시스템으로부터 명령신호를 기존의 엔진 제어기에 출력하여 엔진과 동력전달장치를 종합제어한 시스템도 있다.³⁵⁾

또한 변속시에도 Inertia Phase가 시작되는 지점에서 엔진 토오크를 제어하기 위해 입력축

속도센서를 추가하여 클러치 압력제어와 함께 엔진제어를 하나의 마이크로 프로세서를 이용하여 변속의 품질을 향상시켰다.²¹⁾

기존의 연료분사 및 점화시간 제어용 전자 시스템에 정속한 변속을 실시하기 위해 센서 및 액츄에이터를 확장하여 클러치 압력제어 및 점화시간 지연으로 엔진 토크 제어를 하였다.³²⁾

반면에 변속 제어용 전자 시스템으로부터 명령신호를 기존의 엔진 제어기에 출력하여 엔진과 동력 전달장치를 종합 제어한 시스템도 있다.³⁵⁾

정속한 변속에 대한 요구가 높아지면서 종래의 유압기계식 제어 시스템이 전자유압식 제어 시스템으로 바뀌며 제어의 자유도를 확장시키고 있다. 자동 변속기에 널리 사용되는 액츄에이터로는 Nissan, Mitsubishi 등에서 사용한 PWM 제어밸브와 Toyota, Borg-Warner 등에서 사용한 비례 제어밸브가 있다. 변속시 변속제어가 효과적으로 이뤄지기 위해서는 이러한 밸브들이 기본적으로 만족시켜야 할 특성으로서 응답성, 히스테리시스 외에도 온도의 변화나 공기 유입량에 민감하지 않도록 설계되어야 한다. 따라서 유압시스템의 안정성을 높이고 작동중에 발생하는 서지압력을 억제할 수 있는 유압부품의 설계가 시도되고 있다.^{37,38,39)}

5. 결 론

반도체기술의 발달로 인하여 동력전달장치의 전자제어화가 가속화되면서 요구성능도 높아지고 있다. 변속장치의 전자제어시스템의 핵심인 변속알고리즘 중에서 기본적 기능인 변속시점 결정방법과 변속품질 및 동력향상 수단인 록업 제어 및 변속품질 제어방법들을 고찰하였다.

엔진과 토오크컨버터의 정적특성 및 차량부하와 견인력 곡선에 기초를 둔 변속시점 결정방법은 경제성이 중요시 됨에 따라 Economy Mode와 Power Mode로 구분되었고, 주행중의 동적효과를 고려한 최적시점 결정방법의 연구로서 동력효율을 향상시키려 하고 있다. 록업제어는 토오크컨버터 키프링 모드에서의 동력효율 향상기능 외에도 결합시 전달되는 엔진토크의

차단기능을 구하고 록업작동시 발생하는 과도토크를 제어한다.

참 고 문 헌

1. Hisashi Okayama, "Trand of Power Trains", 自動車技術, Vol.40, No.1, 1986.
2. 岡村 レシクスオートマチック車 開發經, スバル 技報, 第12號, p.51, 1982.
3. David C.Peterson and Keith V. Leigh-Monstevan, "Electronic Shift for Automatic Transmission", IPCU, 900560
4. "Design Practices-Passenger Car Automatic Transmissions", SAE.
5. 박영일, "차량용 변속장치의 변속과도특성에 관한 연구", 서울대학교 공학박사 학위논문 1991.
6. 임원식, "토오크 컨버터를 장착한 차량의 변속과도특성에 관한 연구", 서울대학교 공학석사 학위 논문, 1991.
7. 임원식, 박영일, 임원식, "토오크 컨버터 모델링을 중심으로 한 변속과도특성 해석", 대한기계학회 추계학술대회 논문집, p. 416~421, 1991.
8. 江口, ロシクアシプトルクエンバーダ 一付 自動變速機 開發, 日産技報, 1980, Vol.34, p. 113.
9. Russell Suberschlag, "Centrifugal Torque Converter Clutch", SAE 840051.
10. 清水建男: 自動車用紙燃費 パワープラン ト, 三陽重工技報, Vol.19, No.3(1982), p.113.
11. Hiramastu, T., et al, "Control technology of Minimal Slip-Type Torque Convert Clutch", SAE Paper 850460(1985), p.47.
12. M.C. Tsangarides and W.E. Tobler, "Dynamic Behavior of a Torque Converter with Centrifugal Bypass Clutch", SAE 850461.
13. Blomquist, A.P., et al., "The 1987 Chrysler Torque Converter Lock-Up Clutch", SAE 780100, 1987.
14. 自動車工學, Vol.32, No.4.

15. カーグラフィトシク
16. Chana, H.E., et al., "An Analytical Study of Transmission Modifications as Related to Vehicle Performance and Economy", SAE Paper 770418, 1977.
17. Automotive Engineer, Vol.9, No.5, p.65, 1984.
18. Prof.Dr.-Ing. Gisbert Lechner, Dipl.-Ing. Anton Gührer, "d-26 TRENDS IN THE DEVELOPMENT OF AUTOMOBILE TRANSMISSION", Institute für Maschinenelemente und Gestaltungslehre University of Stuttgart/Federal Republic of Germany.
19. Jim E.Goodba and Michael D.Testerma, "The Design and Development of Four Speed Powershift Transmission with Electronic Pressure Modulation", Funk Manufacturing.
20. Keith Parmee, "Challenges for Transmission engineering(Past and Future)", SAE, Eaton Limited, England.
21. Jack W.Schmidt, "Global Powertrain Trends", SAE General Motors Corp., U.S.A.
22. Tadashi Kondo. "Toyota 'ECT-i' a New Automatic Transmission with Intelligent Control System", SAE, February 26-March, 1990.
23. Reece R.Fuehrer, C.Frederic Faude, "World Transmissions for the 1990 Truck Market", SAE.
24. H.Flegl, "Porsche Double-Clutch Transmission(PDK)-an Alternative Transmission Concept", SAE.
25. K.B. Harman and R.H. Schaefer, "Shift Modulation of Allison Automatic and Powershift Transmissions", General Motors Corp.
26. Masatoshi Shibuya and Syoshi Kubota, "Optimum Control Logic for Manual Transmission", Isuzu Motors Limited.
27. Noboru Hattori and Toshikazu Oshidari, "A New Five-Speed Nissan Automatic Transmission for Passenger Cars", SAE.
28. Ge Anlin and Jiang Jiaji, "Research on Dynamic 3-Parameter Shift Schedule of Automatic Transmission", SAE.
29. Yoshio Shindo and Hiroshi Ito, "A Fundamental Consideration on Shift Mechanism of Automatic Transmission", SAE.
30. Romas B. Spokas and Fred D. Sturges, "Shift Modulation Electronic Controls Applied to Powershift Transmissions", SAE.
31. Alan L. Miller, "Microcomputer controlled Automatic Transmission", SAE.
32. Manfred Schwab, "Electronics Control of a 4-Speed Automatic Transmission with Lock-Up Clutch", Robert Bosch GmbH, Stuttgart.
33. T.Hiramatsu T.Naruse, "Shift Quality Control of an Electronically Controlled 4 Speed Automatic Transmission", MISUBISHI Motors Corporation.
34. Hisashi Kitahara and Kenji Ikeura, "Transient Torque Control during Ratio Changes in Automatic Transmission", JSAE.
35. Minoru Shinohara and Takashi Shibayama. "Nissan Electronically Controlled Four Speed Automatic Transmission", Nissan Motor Co.Ltd.
36. T. Takenaka and Y. Katoh, "A Transmission Control System for Construction Machinery", JSME.
37. Yoshiaki Katoh, "Application of Electrohydraulic Control Valves to Automatic Transmissions-An Approach to Improving Shift Quality", SAE.
38. "자동차에 있어서 유압 기술", 파워 디자인 Vol.27, No.3, 1989.
39. "제어밸브의 전망-듀티 제어 전자밸브, 전기 유압비례밸브", 파워 디자인 Vol.27, No.3, 1989.
40. "자동변속기", 파워 디자인 Vol.27, No.3, 1989.
41. Harward E.Chana, "An Analytical Study of

- Transmission Modifications as Related to vehicle Performance and Economy", SAE.
42. Lawrence T.Wang and William J.Clements, "Powertrain Matching for Better Fuel Economy", SAE.
 43. Kazuhiko ueda, "Improving Fuel Economy by Increasing Gear Steps of Automatic Transmissions", SAE.
 44. Takeo Hiramatsu and Takao Akagii, "Control technology of Minimal Slip-Type Torque Converter Clutch", Mitsubishi Motors Corp.
 45. G.Pannier, "Electronic Control of Automobile transmissions", Renault DRDA.
 46. R.C.Holmes, "Automated Mechanical Transmission Controls", SAE, Eaton Corp.
 47. Akira Watanabe, "Microcomputer Mechanical clutch and Transmission Control, SAE, February 27-March 2, 1984.
 48. P.R.Page, "A Microprocessor Based Controller for a Dry plate Clutch and constant Mesh Gearbox", Lucas Research Centre.
 49. Robert C.Boyer, "Digital Electronic Controls For Detroit Diesel Allison Off-Highway Transmissions", SAE.
 50. Hugh C.Morris and Giles K.Sorrells, "Electronic/Hydraulic Transmission Control System for Off-Highway Hauling Vehicles", SAE.
 51. Hitoshi Kasai, "A Unique Development Method for Microcomputer Controlled Mechanical Clutch and transmission", SAE.
 52. Hiroshi Yoshimura and Atsushi Hirako, "Automated Mechanical Transmission Controls", SAE.
 53. David C.Peterson and Keith V.Leigh-Monsteven, "Electronic Shift for Automatic Transmissions(ESAT)", Automotive Products (USA) Inc.