

버스용 병렬형 하이브리드 동력전달계의 개발 (II) 제 2 편 : 자동화변속기가 장착된 하이브리드 차량의 향상된 변속 제어 알고리즘 개발

A Development of Parallel Type Hybrid Drivetrain System for Transit Bus Part 2 : A Development of Advanced Shift Control Algorithm for Hybrid Vehicle with Automated Manual Transmission

조 한 상*, 조 성 태*, 이 장 무*, 박 영 일**
Han Sang Jo, Sung Tac Cho, Jang Moo Lee, Yeong Il Park

ABSTRACT

In this study, the advanced shift control algorithm for parallel type hybrid drivetrain system with automated manual transmission(AMT) is proposed. The AMT can be easily realized by mounting the pneumatic actuators and sensors on the clutch and shift levers of the conventional manual transmission. By using the electronic-controlled AMT, engine and induction machine, it is possible to achieve the integrated control of overall system for the efficiency and the performance of the vehicle. Performing the speed control of the induction machine and the engine, the synchronization at gear shifting and the smooth engagement of clutch can be guaranteed. And it enables to reduce the shift shock and shorten the shift time. Hence, it results in the improvement of shift quality and the driving comfort of the vehicle. Dynamometer-based experiments are carried out to prove the validity of the proposed shift control algorithm.

주요기술용어 : Parallel Type Hybrid Drivetrain(병렬형 하이브리드 동력전달계), Automated Manual Transmission(자동화변속기), Shift Control Algorithm(변속제어 알고리즘), Shift Quality(변속질), Dynamometer-based Experiment(다이노모 실험)

1. 서 론

차량 변속장치의 자동화는 엔진과 변속기의 작

동을 통합화할 수 있게 함으로써 차량의 전반적인 성능뿐만 아니라 에너지 효율, 운전성 등에서 많은 이점을 얻을 수 있다. 지금까지 사용되는 이러한 자동화된 변속장치는 자동변속기(A/T:Automatic Transmission), 무단변속기(CVT:Continuously Variable Transmission) 그리고 자

* 정회원, 서울대학교 기계설계학과

** 정회원, 서울산업대학교 기계설계학과

동화변속기(AMT:Automated Manual Transmission) 등이 있다. 이들 중 자동화변속기는 기존의 수동변속기(M/T:Manual Transmission)에 공압이나 유압 액츄에이터(Actuator) 등을 부가하여 변속 조작과 클러치 조작을 자동화한 것으로, 수동변속기와 자동화변속기의 장점만을 이용할 수 있기 때문에 지금까지 완성차 업체인 Isuzu, Benz, Volvo, 변속기 제조업체인 ZF, Allison, 클러치 제조업체인 LuK, Fichtel & Sachs 등 많은 관련업체에서 연구 개발하고 있다.^{1~6)} 특히 엔진과 전동기를 동력원으로 하는 하이브리드 차량은 그 성능 최적화와 제어를 위하여 자동화된 변속기어열이 반드시 필요하므로 이러한 하이브리드 차량에 자동화변속기를 장착하고 있다.^{7,8)} 특히 중대형 차량용 변속장치는 그 동력전달 특성상 아직 무단변속기의 적용이 불가능하며, 자동변속기도 많은 동력 손실을 피할 수 없다는 점을 고려한다면, 앞으로 자동화변속기가 이러한 차량의 대부분에 장착될 것이 예상된다. 이러한 자동화변속기의 제어에 있어서 가장 중요

한 것은 변속시 변속 시간과 변속 충격에 대한 제어로서 이들은 차량 승차감과 변속기의 수명에 직접적인 영향을 준다. 특히 가장 지배적인 변속인 변속 충격은 싱크로나이저(Synchronizer)의 결합시와 클러치의 결합시 발생되는데, 기존의 자동화변속기는 차량의 모든 주행 조건에 대하여 적절한 변속 질(Shift quality)을 보장받기 위하여 다양한 기법들을 적용하고 있다.^{4~6,9,10)}

본 연구에서는 기존의 자동화변속기에 대하여 그 변속 특성이 향상된 변속 제어 알고리즘을 제시하였다. 또한 이러한 변속 제어 알고리즘을 적용하고 시내버스용 병렬형 하이브리드 차량에 장착된 자동화변속기를 개발하였다. 이때 변속시 싱크로나이저의 성공적인 결합과 변속 충격의 저감을 보장해주기 위하여, 향상된 변속 제어 알고리즘은 변속기어열과 클러치에 적용된 공압 액츄에이터의 전자 제어화와 변속시의 전동기에 의한 출력 제어를 이용하였다. 개발된 변속 알고리즘은 이의 검증을 위하여 하이브리드 동력전달계와 자동화변속기를 장착한 실험장치에 직접 적용하

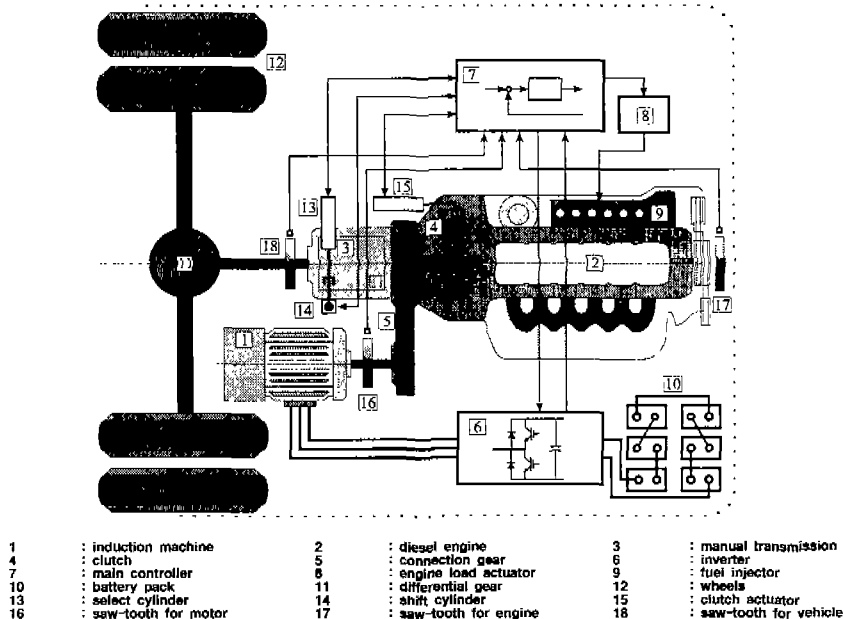


Fig.1 Schematic diagram for parallel hybrid drivetrain

였으며, 다양한 실험을 통해 변속질과 승차감의 개선을 확인하였다.

2. 자동화변속기의 변속 제어기와 변속 알고리즘

2.1 자동화변속기와 작동 시스템

자동화변속기는 기존의 수동변속기에서 운전자가 수행하는 작업이 액츄에이터의 작동으로 대체된 변속장치이다. 본 연구에서 적용된 자동화 변속기와 이를 제어하는 여러 작동 요소들은 다음과 같이 구성되어 있다.

- ▶ 변속기 - 기존의 시내버스용 5단 수동변속기
- ▶ 실린더 - 스트로크 80mm, 10bar의 공압으로 작동되는 비대칭형 공압 실린더 2개
- ▶ 밸브 - 구동전원 24V의 방향 전환 공압 솔레노이드 작동 밸브 5개
- ▶ 공압 브레이크 - 공압 실린더와 일체형 2개
- ▶ 출력 신호부 - 변속 실린더의 위치를 판단하는 On/Off 센서 6개와, 클러치의 위치 판단을 위한 리미트 스위치(Limit switch) 1개
- ▶ 입력 신호부 - 공압 밸브 작동신호 입력부

Fig.1은 이러한 자동화변속기를 장착한 병렬형 하이브리드 동력전달계의 구조와 각 구성요소들 간의 연결을 간단히 나타낸 것이다. 또한 변속 단수를 변경하기 위한 공압 실린더에는 Fig.2와 같은 공압 제어회로가 사용되었으며 이들의 작동을 변속 레버와 클러치로 구분하여 간단히 설명하면 다음과 같다.

클러치 작동 시스템 - 본 연구에 적용된 하이브리드 동력전달계는 변속시 엔진 및 전동기의 속도 제어가 가능하도록 설계되었다. 따라서 변속 완료 직전의 클러치 결합시 가장 큰 변속 과도상태를 발생시키는 일반적인 자동화변속기처럼 정밀한 반클러치 제어가 필요하지 않다. 왜냐하면 이것은 엔진과 전동기의 속도제어를 이용하여 클러치 상대속도를 이미 없앤 후에 결합을 수행하기 때문이다. 따라서 실험장치에 장착된 클러치

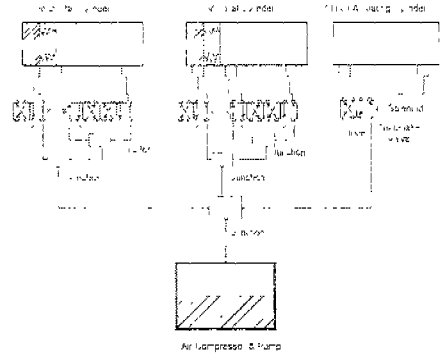


Fig.2 Pneumatic circuit for automated manual transmission

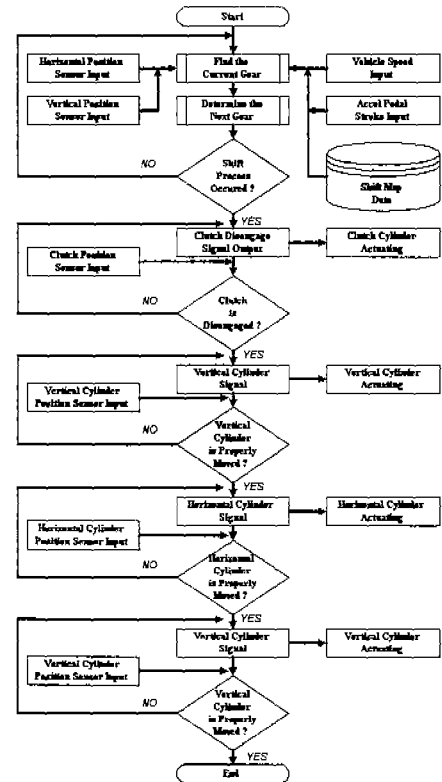


Fig.3 Flowchart of shift sequence

시스템은 하이브리드 주행 제어기(Hybrid Electric Control Unit : 이하 HECU)의 ON/OFF 작동 신호만을 받아서 가능한 한 빠른 속도로 클러치의 분리/결합을 수행하도록 하였다. 주행시

클러치가 분리되어 있는 경우는 변속시와 발진시 그리고 전동기 모드로 주행시이다. 이러한 경우 HECU로부터 클러치의 분리 신호를 받으면 공압 실린더는 솔레노이드의 작동에 의하여 전진하게 되고, 이는 변속기에 부착되어 있는 증압장치를 통해 클러치를 실제로 분리시키게 된다. 또한 리미트 스위치를 부착하여 클러치 분리를 판단하도록 구성하였다. 반대의 경우에는 공압 실린더에 차있던 공압을 솔레노이드에 의해 제거하게 되면, 클러치 자체에 부착된 다이어프램 스프링(Diaphragm spring)들의 복원력에 의하여 클러치가 빠르게 결합하게 된다.

변속레버 작동 시스템 - 변속레버 작동 시스템은 2개의 공압 실린더와 위치센서들로 구성된다. 이때 공압 실린더의 왕복 운동력을 이용하여 변속레버를 충분히 움직일 수 있는 용량을 선정하였다. 또한 공압 실린더의 움직임을 제어하기 위한 방향전환 솔레노이드 밸브와, 정확한 위치 선정을 위한 공압 브레이크도 역시 변속 레버 작동 시스템에 포함된다. 공압 실린더들은 공압 브레이크의 도움을 받아 각각 수직방향으로 세 위치, 수평방향으로 세 위치에 대하여 빠른 시간 내에 정확하게 움직일 수 있다. 따라서 이들을 조합하

면 모두 전진 5단, 후진 1단의 자동화변속기가 구현되게 된다.

구성된 자동화변속기를 작동시키기 위해 각종 입력신호를 받아들여 변속 여부를 결정하고 공압 실린더를 작동시켜 변속을 행하는 순서는 Fig.3 과 같은 흐름도로서 간략화하여 표현할 수 있다.

2.2 자동화변속기의 변속 알고리즘

HECU는 변속을 판단하기 위하여 내부 메모리에 저장되어 있는 변속전략들을 매 주행시 항상 호출한다. 이곳에는 각 주행모드와 이코노미/파워(Economy/Power) 모드에 대한 여섯 가지의 변속선도가 저장되어 있으며, 이들은 현재의 차량속도와 운전자의 가속 페달량의 두 가지 파라미터를 사용하여 변속을 판단한다. 또한 이들 이외에 스킵변속(Skip shift)과 같은 각종 변속 제한조건 등도 포함되어 있다. Fig.4는 변속 판단이 된 후 자동화변속기의 변속 제어 알고리즘이 각 변속단계를 수행하는 과정을 도식적으로 나타낸 것이다.

위의 변속과정을 간단히 요약하면 다음과 같다. 우선 변속이 판단된 직후 클러치 분리가 수행

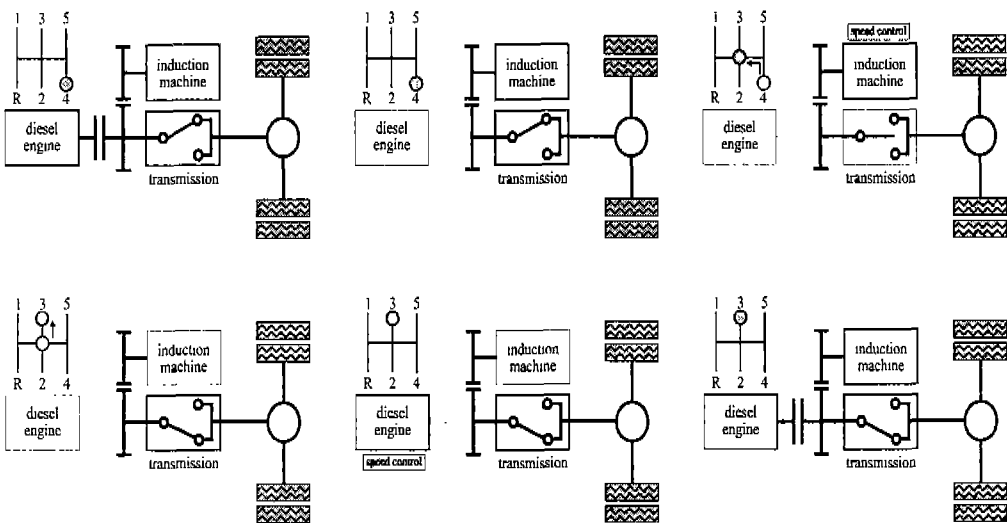


Fig.4 Shift sequence of automated manual transmission in parallel hybrid drivetrain

되며 동시에 엔진과 전동기의 출력이 제거된다(b). 다음으로 변속 실린더(Shift cylinder, Y방향)를 중립으로 이동하며, 그 직후 싱크로나이저의 원활한 결합을 위한 전동기 속도제어를 수행한다. 목표값까지의 속도제어가 완료되면 선택 실린더>Select cylinder, X방향)를 원하는 기어단수의 입구에 위치시킨다(c). 다음으로 변속 실린더(Shift cylinder, Y방향)를 원하는 기어단수로 결합시킨다(d). 완전한 기어의 결합이 완료되면 HECU는 하이브리드와 엔진 모드시 변속충격 저감을 위한 엔진 부하량 제어를 수행한다(e). 이들에 의하여 엔진 회전수가 목표속도에 도달하면 클러치 실린더를 결합시킨다(f). 그러나 전동기 모드시에는 클러치 결합이 필요 없으므로 본 과정을 무시하게 된다. 한편 변속을 위해 변속직전 제거되었던 엔진과 전동기의 출력은 변속 후 다시 원상태로 회복되어야 한다. 그러나, 이들이 너무 급박하게 회복된다면 그 효과가 클러치 결합시의 충격만큼 증폭되어 지므로 변속제어의 의미가 상실되게 된다. 따라서, 차량가속도의 약간의 손실을 감수하더라도 엔진과 전동기의 출력회복은 서서히 이루어져야 한다. 본 제어 알고리즘에서는 이를 위하여 Δt 동안 원래의 출력까지 직선적으로 회복되는 루트를 택하였으며, 이를 쉽게 변경할 수 있도록 하였다.

위의 변속과정 중 싱크로나이저 결합을 위한 전동기 속도 제어는 비례적분 제어를 사용하였으며, 제어 이득들은 실험을 통하여 적절한 값들을 선정하여 사용하였다.^{11,12)} 또한 클러치 결합을 위한 엔진 부하량 제어도 전동기 속도제어와 마찬가지로 비례적분 제어를 사용했으며 제어이득도 전동기 제어시와 비슷한 방법으로 구할 수 있다.

3. 하이브리드 동력전달계 실험장치의 구성

설계된 하이브리드 동력전달계의 성능 및 변속과도 상태를 해석하고, 개발된 자동화변속기의 변속 제어 알고리즘을 검증하기 위하여 다음과

같은 실험장치를 구성하였다. 실험장치는 168마력 디젤 엔진, 37kw급 교류 전동기, 배터리, 전동기 결합장치, 자동화변속기와 각종 공급 실린더, 와전류식 부하계(Eddy-current dynamometer), 전동기 제어와 주행 제어 알고리즘 제어를 위한 인버터와 HECU, 데이터 수집용 PC, 토크/속도와 각종 위치센서 등으로 이루어져 있다.

3.1 HECU 통합 제어기

HECU는 운전자의 지령과 현재 차량 상태에 따라 적절한 주행 모드를 결정하고, 이것에 따른 엔진과 전동기의 출력 동력을 제어하며, 자동화변속기의 동작을 제어하게 된다. 이러한 역할을 위하여 제어기 보드(Board)는 동력전달계의 각종 신호들을 아날로그 혹은 디지털 입력으로 받은 후, 중앙 처리 장치에 저장되어 있는 주행 제어 알고리즘의 연산 결과에 따라 엔진과 전동기의 출력, 자동화변속기의 변속명령 등을 역시 아날로그 혹은 디지털 출력으로 내보내게 된다. 또한 각종 센서로부터 얻은 동력전달계의 현재 작동 상태에 대한 자료들은, RS232C 포트를 통한 직렬통신을 이용하여 자료 수집용 PC로 보내어 저장하게 된다. 이러한 HECU의 주 하드웨어는 중앙 처리 장치로 매우 빠른 고속 연산이 가능한 DSP 처리기인 TMS320C31을 채택하였기 때문에 주로 전동기의 최적 제어를 위한 고속 연산이 요구되는 곳에 많이 적용되어 왔다. 따라서 그 작동의 신뢰성과 성능의 우수성 등은 이미 발표된 여러 연구결과를 통하여 입증된 것이다.^{11,12)} 또한 사용 보드는 여유 있는 많은 메모리 용량과 다양한 입출력 포트를 가지고 있기 때문에, 하이브리드 동력전달계의 주행 제어 알고리즘을 구현하는데 있어서 매우 편리하게 적용할 수 있었다. Fig.5는 하이브리드 동력전달계의 전체모습이며, Fig.6은 사용된 HECU 보드와 전동기 제어용 인버터를 같이 나타낸 것이다. 또한 Fig.7과 Table 1은 HECU에 연결된 각종 입출력 신호들의 흐름도와 그 특징들을 나타낸 것이다.

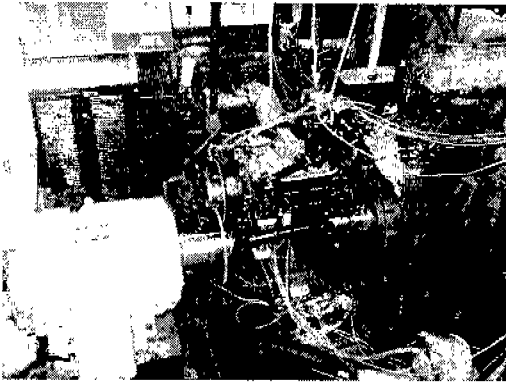


Fig.5 Overview of the hybrid drivetrain with the AMT in the dynamometer

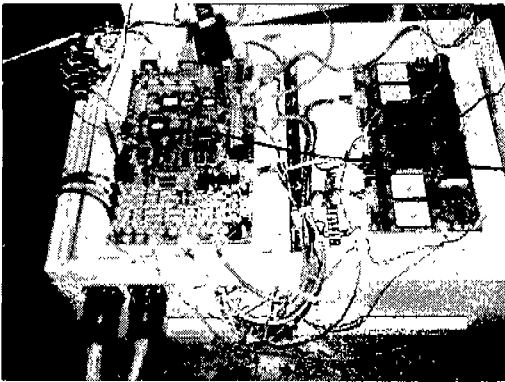


Fig.6 Main control board and inverter

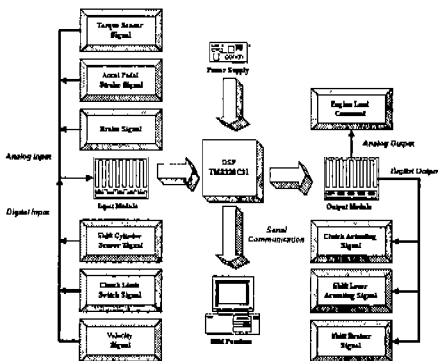


Fig.7 Schematic diagram of main control unit

3.2 전동기 제어와 엔진 출력 제어 시스템

하이브리드 모드로 주행시 동력전달계는 각각의 동력원이 최적의 효율에서 작동하도록 이들을

Table 1 Analog/Digital Input/Output signal of main controller

	Signals	Num.	Type
Input	Analog	• Accel Pedal Stroke	1 0~5V
		• Brake Action	1 0~5V
		• Torque Sensor	1 0~7V
	Digital	• Horizontal Cylinder Position Sensor	3 On/Off
		• Vertical Cylinder Position Sensor	3 On/Off
		• Clutch Position Sensor	1 On/Off
		• Motor Velocity Sensor	1 Pulse
		• Engine Velocity Sensor	1 Pulse
		• T/M Output Velocity Sensor	1 Pulse
		• Engine Throttle Control	1 0~5V
Output	Analog	• Horizontal Cylinder Actuating	3 On/Off
		• Vertical Cylinder Actuating	3 On/Off
		• Clutch Cylinder Actuating	1 On/Off

제어해야 하므로 엔진과 전동기의 제어가 필수적이다. 본 연구에 적용된 전동기에 대한 제어에서는 여러 연구 등에서 적용되고 그 성능이 검증된 벡터 제어 기법과 그 인버터를 그대로 이용하였기 때문에, 요구되는 전동기의 목표 출력값에 대하여 매우 빠른 응답과 정확한 성능을 보장할 수 있다.^{11,12)} 그러나 엔진의 제어를 위하여 각 실린더내의 연료 분사량을 정확하게 제어할 수 있는 전자 거버너(Electric governor)는 매우 고가이기 때문에, 본 연구에서는 엔진의 부하량을 소형 직류 모터를 이용하여 제어함으로써 엔진의 출력을 간접적으로 제어하였다.

Fig.8은 엔진 출력 제어 시스템의 개요도이다. 이때 HECU로부터 엔진의 요구 출력 신호를 받아 직류 모터를 제어하는 장치로는 HP9000 워크스테이션(Workstation)과, 이 본체에 내장된 전용 입출력 제어기(I/O controller)를 사용하였다. 엔진 출력을 제어하는 방법은 우선 HECU에서

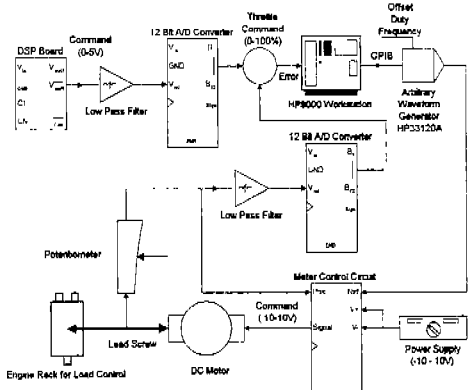


Fig.8 Schematic diagram of engine torque control system

결정된 목표 엔진 출력 신호가 아날로그 신호로서 저대역 필터(Low-pass filter)와 A/D 변환기를 거쳐 워크스테이션에 디지털 신호로 입력된다. 워크스테이션 내부의 직류 모터 제어기는 이 신호에 맞는 적절한 제어 신호를 생성한다. 이러한 출력 제어 신호는 펄스폭 변조 신호(PWM : Pulse Width Modulation)를 발생시키는 임의 함수 발생기(HP33120A : Arbitrary waveform generator)가 필요한 신호 형식인 주파수, 듀티(Duty) 그리고 오프셋(Offset)으로 구성되어 있다. 워크스테이션과, 상용 인터페이스인 GPIB (General Purpose Interface Board)로 연결된 임의 함수 발생기는 제어 파라미터들을 이용하여 실제 해당 신호를 발생시킨 후 이를 직류 모터 구동 회로로 보내 주게 되며 이때 구동 신호는 $-3V \sim +3V$ 이내의 전압으로 변동한다. 모터 구동회로는 구동신호 전압의 부호에 따라 직류 모터의 회전 방향을 바꿀 수 있도록 해준다.

3.3 각종 센서와 주변장치

자동화변속기의 출력축은 설차 장착용 유니버설 조인트(Universal joint)를 거쳐 차량의 관성에 해당하는 플라이휠(Flywheel)과 와전류식 부하계에 연결되어 있다. 한편 변속기 출력 토크 센서는 스트레인 게이지 형식(Strain gage type)

의 토크 센서와, 스트레인 증폭기(Strain amplifier)를 사용하였다. 또한 속도센서로는 엔진 속도와 출력축 속도를 측정하기 위한 마그네틱 픽업 타입(Magnetic pick-up type)의 속도 센서와 전동기 속도 측정을 위한 인코더(Encoder)를 사용하였다. 이때 엔진축에 장착된 기어의 이수는 90개이며, 출력축에 장착된 기어의 이수는 103개로 하여 측정의 정밀도를 충분히 보장할 수 있도록 하였다. 따라서 이들로부터 측정된 속도들은 펄스 형식으로 HECU에 전달되게 되며, 여기서 이들 속도 센서에서 발생하는 펄스신호의 시간당 개수를 세어 이를 속도단위로 변화시킨다.

4. 자동화변속기의 변속 제어기와 변속 알고리즘

설계된 하이브리드 동력전달계의 실험장치를 이용하여 다양한 주행 모드에 대한 자동화변속기의 변속 실험을 수행하였다. 실험 방법은 고정된 운전자의 가속 페달량에 대하여, 각 주행 모드에 따라 1단 정지시부터 5단까지의 상단 변속, 그리고 5단에서부터 1단 정지시까지의 하단 변속을 수행하였다. 이때 HECU 내의 변속 제어 알고리즘은 변속단수를 Fig.9에서 보는 바와 같이 정의하고 있다. 이러한 정의에 따르면 기어가 중립일 경우는 0.5, 2.5, 4.5의 세 가지 값일 때이며, 후진은 0이고 그밖에는 그 단수에 해당하는 값이 현재 기어의 위치를 나타낸다. 이러한 정의는 실제 변속시 불필요한 동작(예 : 4→5 변속시 4→4.5→2.5→4.5→5로 변속하는 동작)들을 제거할 수 있으며, HECU가 동일한 중립상태인 위의 세 가지 경우에 대하여, 각기 다른 변속 실린더의 구분된 동작을 명령할 수 있게 되기 때문에 정확한 변속 제어가 가능하게 된다.

우선 Fig.10과 Fig.11은 엔진 모드로 주행시 상단과 하단 변속 상황을 나타낸다. 이때 상단 변속시 가속 페달량은 70%로 하였으며, 하단변속은 가속 페달량을 0%로 가해줌으로서 이루어지

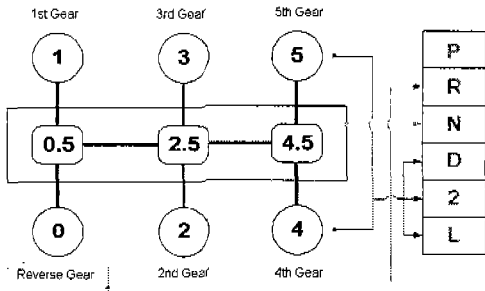


Fig.9 Definition of shift and select lever position

도록 하였다. 특히 이 실험결과는 변속시 전동기 제어와 엔진 부하 제어를 수행하지 않았을 때의 상태를 분석하기 위한 것으로, 변속시 싱크로나이저의 결합은 순수하게 변속 실린더와 선택 실린더의 공압력으로 이루어진다. 따라서 그 결과들을 보면 싱크로나이저의 강제 결합시 전동기 속도(변속기 입력축 속도)가 많은 진동을 나타내고 있음을 알 수 있으며, 특히 저단에서의 변속에서는 결합시 상당한 소음도 발생하게 된다. 또한 클러치 결합시에도 상당히 큰 출력 토크의 과도 진동 현상을 볼 수 있다. 특히 하단 변속시는 엔진이 아이들 회전수까지 떨어진 후에 클러치 결합이 발생하므로 엔진 관성과 엔진 브레이크 현상에 의해 음의 과도 토크가 발생하며, 그 잔류 진동도 계속 존재한다. 이러한 음의 과도 토크는 동일한 절대값이라도 양인 경우보다 더욱 승차감에 악영향을 미친다. 왜냐하면 주행시 차량 가속도 방향과 반대방향의 힘이 순간적으로 작용되는 효과를 가져오기 때문이다. 따라서 기존의 일반 자동화변속기는 이러한 문제점을 피하기 위하여 많은 추가적인 노력이 필요하게 된다. 즉 공압을 사용할 경우 매우 다양한 주행상황에 따른 각각의 튜닝(Tuning)이 필요하게 되며, 이것이 어려운 경우 유압이나 전기 모터 등을 사용할 수밖에 없으며, 이는 제품의 단가를 상당히 높이는 결과를 초래하게 된다. 또한 이러한 경우는 모두 일정시간 이상의 반클러치 상태가 계속되어야 하므로, 클러치 수명도 짧아질 수밖에 없다.

Fig.12~Fig.17은 본 연구에서 제시된 변속제

어 알고리즘을 적용하여 각 주행 모드에 대한 실험을 수행한 결과들을 나타낸 것이다. 우선 엔진 모드에 대한 상단 변속 주행 실험 결과인 Fig.12를 보면 변속시 전동기 속도 제어를 통하여 싱크로나이저의 영향이 제거되었으며, 클러치 결합시의 과도 토크도 제어를 안했을 경우와 비교하면 상당히 저감되었다는 것을 알 수 있다. 실차 주행시 상단 변속 시점이 일정량 이상 높아진다면 더욱 이러한 과도 현상은 줄어들 것으로 예상된다. 또한 변속 직후 엔진 부하량의 복귀를 스텝 입력으로 하지 않고 약 2초 동안의 경사 입력(Ramp input)으로 수정한 결과 차량의 큰 가속도 손실 없이 그 과도 현상을 많이 제거할 수 있음을 보여 주었다. 하단 변속도 Fig.13에서 보는 바와 같이 위와 같은 제어를 통해 과도 현상을 많이 제거하였음을 나타낸다. 특히 클러치 결합을 위한 엔진 부하량 제어를 클러치 양단의 속도차이가 어느 한도 이내로 접근하였을 때, 미리 부하량을 제거하였기 때문에 클러치 결합후 엔진 토크의 블로우-업(Blow-up) 현상 등을 적절히 차단할 수 있으며, 그 결과로 변속 직후의 진동 감소 효과도 상당히 개선되었음을 알 수 있다. 한편 2단에서 1단 변속은 출력축이 거의 정지상태에서 이루어졌으므로 그 동적 특성을 판단하지는 않고 동작의 확인만 하였다.

Fig.14와 Fig.15는 전동기 모드로 주행한 실험 결과를 나타낸 것이다. 이는 다른 주행 모드와는 다르게 클러치가 전체 주행시 항상 분리되어 있기 때문에, 변속시 클러치 결합 충격도 없으며 따라서 클러치 결합을 위한 엔진 부하량 제어도 필요가 없다. 그 결과로 상하단 모두 매우 부드럽고 빠른 변속이 수행되는 것을 알 수 있었다. 결국 실차에서의 전동기 모드는 변속을 거의 느끼지 못하는 주행상태를 얻을 수 있다.

Fig.16~Fig.17은 하이브리드 모드로 주행한 실험결과를 나타낸 것이다. 위의 엔진 모드 실험결과와 유사하게 상하단 변속시 모두 그 특성이 안정적으로 나타났으며, 따라서 빠르고 무난한 변속을 수행하였음을 알 수 있다. 이때의 출력축

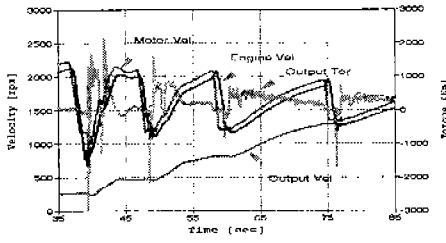


Fig.10 Experimental results (engine mode, upshift, without shift control) - velocity and torque

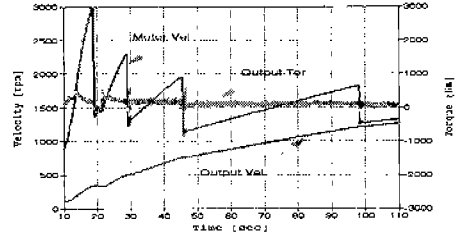


Fig.14 Experimental results (motor mode, upshift, with shift control) - velocity and torque

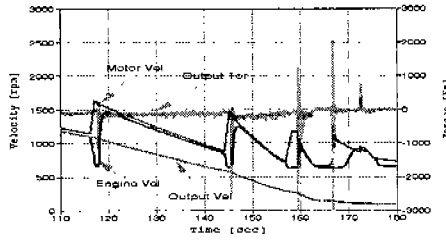


Fig.11 Experimental results (engine mode, downshift, without shift control) - velocity and torque

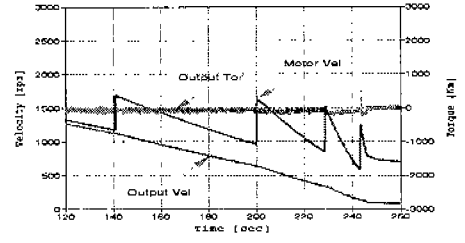


Fig.15 Experimental results (motor mode, downshift, with shift control) - velocity and torque

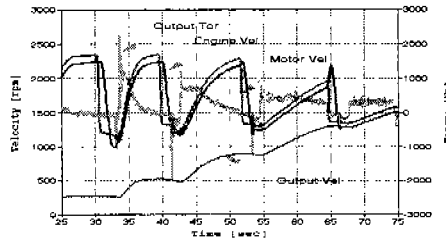
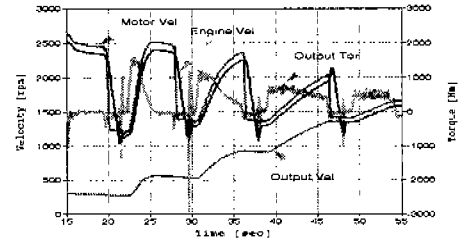


Fig.12 Experimental results (engine mode, upshift, with shift control) - velocity and torque



(a) Velocity and torque

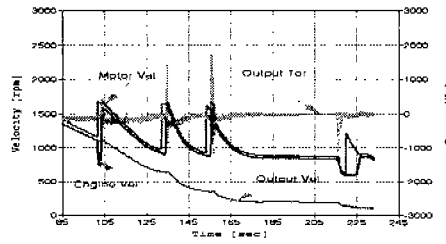
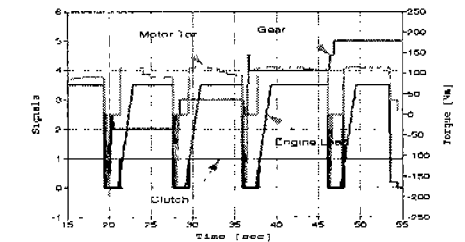
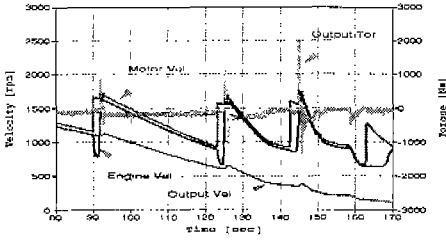


Fig.13 Experimental results (engine mode, downshift, with shift control) - velocity and torque

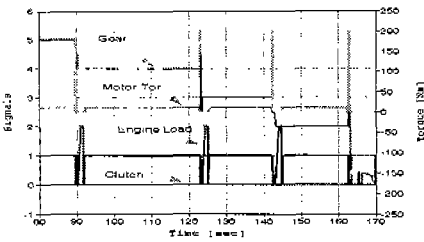


(b) Control Signals

Fig.16 Experimental results (hybrid mode, upshift, with shift control)



(a) Velocity and Torque



(b) Control Signals

Fig.17 Experimental results (hybrid mode, downshift, with shift control)

토크를 보면 변속 충격도 비교적 작고 빠른 감쇠를 나타냄으로서 과도 충격을 주는 요소가 역시 빠르게 제거되었음을 나타낸다. 특히 제어 신호들을 나타내는 그림 (b)들에서는 상단 주행시 엔진 부하량과 전동기 토크가 동시에 출력되어짐을 알 수 있었다. 또한 상단 변속시 전동기의 분기 속도인 1800 rpm에서부터 출력 토크가 속도에 반비례하는 전형적인 전동기 특성이 나타남을 확인할 수 있으며, 차량 속도의 감소시 하단 변속을 제외한 나머지 구간에서는 전동기 출력 토크가 음의 값을 가지므로 제동에 의한 에너지 재생 모드도 그 작동이 잘 되고 있음을 알 수 있다. 결과 신호중 클러치 신호는 1일 경우 결합, 0일 경우 분리를 나타내며, 기어 값은 위의 Fig.9에 표시된 레버의 위치값을 그대로 나타낸다. 또한 엔진 부하량은 0V~5V사이의 값을 그 범위로 하여 출력하였다. 따라서 엔진 부하량은 정확히 3.5V이므로 가속 페달량 70%에 대한 엔진의 요구 출력이 발생됨을 알 수 있다. 변속시 전동기

토크는 원활한 싱크로나이저의 결합을 위해 제어된다. 그 결과로 상단변속시 음의 토크, 하단변속시 양의 토크가 발생되며, 매우 짧은 시간에 제어가 완료됨을 알 수 있다.

한편 본 변속기는 5단에서의 변속비가 1.0이므로 출력축 속도와 엔진 속도가 5단에서 정확히 일치하였으며, 전 구간에서 전동기 속도와 엔진 속도의 비도 역시 결합장치 기어비와 정확히 일치하였다. 또한 상단변속에 대하여 변속시간은 엔진과 하이브리드 모드의 경우 평균 약 1.8~2.2초, 하단변속은 약 2.8~3.5초를 나타내었다. 이는 일반 수동변속기에 대해 숙련된 운전자가 변속시 걸리는 시간과 유사하다. 반면 전동기 모드는 상하단 변속 모두 0.5초 이내에 모든 변속이 완료됨으로써, 역시 가장 우수한 변속 특성을 나타내었다.

5. 결 론

본 연구에서는 시내버스용 병렬형 하이브리드 동력전달계에 장착된 자동화변속기를 위하여, 전동기와 엔진 부하량 제어를 이용한 새로운 개념의 변속 제어 알고리즘을 개발하였다. 또한 설계된 실험장치를 이용한 다양한 실험을 통해 이들의 타당성을 검증해 보았다. 이상의 결론들을 요약하면 다음과 같다.

- ① 설계된 HECU와 작성된 변속 제어 알고리즘은 주행상황과 운전자 입력에 맞게 정확히 작동되었으며, 적절한 제어를 통해 그 특성을 향상시킬 수 있었다.
- ② 상단 변속이 판단된 직후 클러치가 분리되며, 전동기 속도제어에 의해 전동기 출력토크는 음의 값을 가진다. 계속하여 변속 실행 후 엔진 부하량 제어에 의해 클러치가 결합된다. 이러한 변속을 위한 일련의 과정들이 미리 설계된 변속 제어 알고리즘에 따라 정확히 제어되고 있음을 알 수 있다.

- ③ 하단변속은 근본적으로 상단변속의 과정들과 일치하는 것을 볼 수 있으나, 전동기 속도 제어시 양의 출력토크가 발생되며 클러치 결합을 위한 엔진 부하량 제어량이 두드러지게 나타나는 것이 상단변속과 다른 점임을 알 수 있다.
- ④ 엔진 모드나 하이브리드 모드 주행에 있어서 변속시 클러치 결합에 의해 출력토크의 과도 현상이 항상 발생된다. 따라서 이들을 얼마나 정확히 제어하는가는 변속성능과 직결되는 문제가 된다. 본 연구에서는 전동기와 엔진 부하량 제어, 클러치 결합시점의 판단 그리고 변속 후처리 기법 등을 새롭게 도입하였다. 따라서 여러 공압 제어와 튜닝 등 부가적인 노력이 없이, 단순히 On/Off 신호만으로 클러치 결합을 수행할 수 있으며, 이들로 인해 상당한 변속 특성 개선 효과를 볼 수 있었다.
- ⑤ 전동기 모드 주행시에는 엔진과 클러치가 변속에 전혀 관여하지 않기 때문에 매우 부드럽고 빠른 변속을 수행할 수 있음을 보여주었다.
- ⑥ 변속 제어시 엔진의 시간지연과 같은 고유한 특성들로 인하여, 변속 과도 현상들을 완전히 제거하지는 못하였다. 그러나 앞으로 전자 거버너, 입력축 브레이크(Input brake) 장착, 이중 클러치 실린더(Double clutch cylinder) 등을 장착하여 좀더 정밀한 시스템의 제어를 수행할 예정이므로, 이러한 변속 특성을 더욱 개선해 나갈 수 있을 것으로 예상된다.

참 고 문 헌

1. R. Mizon and R. M. Tuck, "Automatic and Powershift Transmission for Trucks", SAE Paper No. 912486, 1991.
2. C. Bader, "Powertrain Electronics - Progress on Use and Development of the Computer Aided Gearshift Systems", SAE Paper No. 901160, 1990.
3. L. Paulsen, "Electronic Powertrain Management for Heavy-duty Trucks", J. of IMechE, Paper No. C389/305, 1992.
4. 田中裕久, 和田英幸, "電子空氣壓比例制御機構によるクラッチの締結制御", 日本自動車技術會 學術講演會前刷集 924, 1992., pp.121-124.
5. 服部俊雄, "いすつアスカ用イ-シ-ト-ラ イフ-システム(EDS)の制御ロ-ック", いすつ技報, 第72号, pp.27-35.
6. H. Yoshimura and A. Hirako, "Automated Mechanical Transmission Controls", SAE Paper No. 861052, 1986.
7. I. Forster and J. R. Bumby, "Optimisation and Control of a Hybrid Electric Car", IEEE Proceedings, Vol. 134, No. 6, 1987, pp.373-387.
8. P. W. Masding, J. R. Bumby, "A Microprocessor Controlled Gearbox for Use in Electric and Hybrid-electric Vehicles", Trans. Inst. M.C., Vol. 10, No. 4, 1988, pp.177-186.
9. 김인천 외, "대형차량용 수동변속기 변속자동화 시스템 개발에 대하여", 아시아기보, 통권 22호, 1995.
10. 박진호, "승용차용 자동화변속기의 동적 특성 및 변속 알고리즘에 관한 연구", 서울대학교 공학석사 학위논문, 1996.
11. S. K. Sul, et. al., "Advanced Control Strategy of Parallel Hybrid Low Emission Electric Vehicle", IEEE Workshop on Power Electronics in Transportation, Michigan, 1996.
12. 조한상, "하이브리드 차량 동력전달계의 설계와 주행 제어 알고리즘 개발", 서울대학교 공학박사 학위논문, 1998.