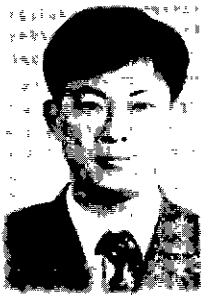


자동변속기의 변속특성분석을 위한 HILS 개발



정 규 흥 교수
대전대학교
기계설계공학과

1. 서론

현재 승용차용 자동변속기의 연구에서 핵심적인 관심분야는 변속시 발생하는 충격을 저감시킬 수 있도록 하는 변속제어기 및 알고리즘의 개발이며 국내 각 자동차회사에서는 고유 모델을 개발하여 양산차에 적용하려는 노력을 경주하여 왔음에도 불구하고 아직까지는 그 결과가 미흡한 실정이다.

우수한 성능을 갖는 변속제어기의 개발을 위해서는 동력전달계의 변속특성에 대한 심도있는 분석과 이해를 바탕으로 변속 제어알고리즘의 설계와 실험을 통한 검증의 과정이 반복적으로 수행되어야 하나, 실제 자동차회사의 개발과정에서 이론적으로 연구된 결과가 적용되는 경우는 극히 일부에 불과하며, 대부분은 다이내모 또는 실차 변속실험을 통하여 변속제어기의 데이터를 조정(tuning) 하여 개발하고 있다 이러한 개발과정의 주요 원인으로는 자동변속기의 변속조건이 매우 다양할 뿐만 아니라 여러 부품에 대한 자동변속기의 단순화된 동특성 모델의 오차와 엄격한 파악이 곤란한 미지의 데이터로 인하여 이론적인 시뮬레이션 결과가 변속특성의 경향분석에는 효과적이지만 실제의 변속특성을 만족스럽게 예측하는 데에는 한계가 있기 때문이다.

그러나, 전술된 바와 같이 변속제어기의 개발에 있어서 변속동특성의 분석은 필수적으로 선행되어야 할 연구분야이며, 실제의 실험 결과에 근접한 신뢰성있는 시뮬레이션의 결과를 얻을 수 있다면 보다 효율적인 연구개발이 이루어질 수 있을 것이다.

자동변속기의 구성요소는 크게 토크컨버터(torque converter), 유성치차계로 구성되는 기어열(gear train), 자동변속기 내부의 클러치/브레이크를 작동시키는 유압제어시스템, 변속시점의 결정 및

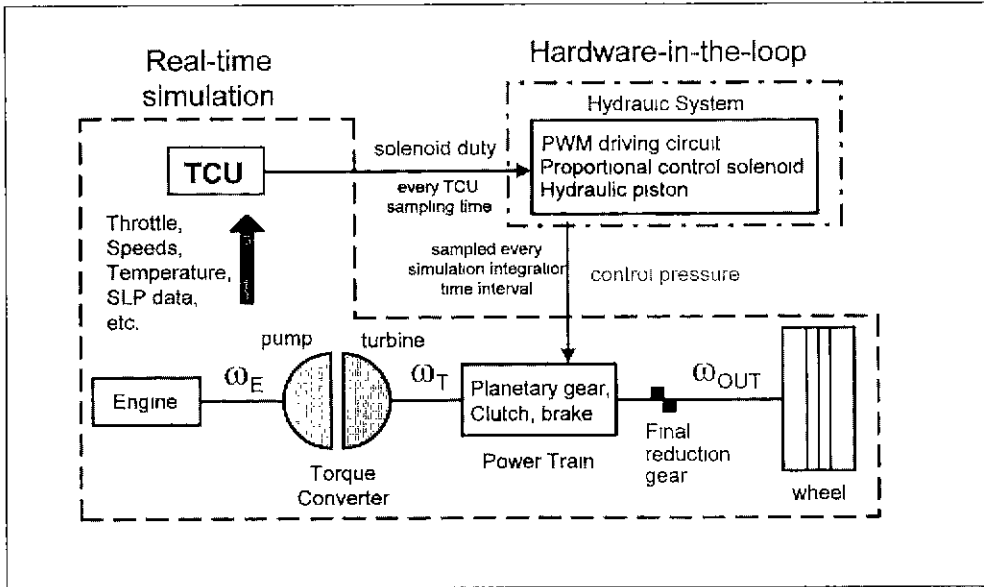


Fig. 1 Hardware-in-the-loop simulation for automatic transmission

변속제어의 기능을 담당하는 TCU (Transmission Control Unit) 로 나뉘어 질 수 있으며 자동변속기의 변속특성 시뮬레이션을 위해서는 전술된 모든 구성요소에 대한 수학적 모델이 요구된다.

토크컨버터와 기어열에 대한 수학적 모델의 상태변수 개수 (변속상태에 따라 다르지만 7개 내지 9개의 상태변수) 및 물성치에 대한 오차는 유압제어 시스템에 비하여 매우 작으므로 시뮬레이션 결과와 실험결과는 비교적 잘 일치하는 특성을 갖는다.

이에 비하여 유압제어시스템은 수많은 밸브로 구성되어 수학적 모델의 차수가 높을 뿐만 아니라 유온에 따른 특성변화가 매우 크므로 변속제어특성을 결정짓는 입력의 변화를 정확하게

예측하는 연구는 많은 노력을 기울여도 만족스러운 결과를 도출해내기가 어렵다.

따라서, 변속특성 시뮬레이션 시 특성파악이 곤란한 유압제어 시스템을 제외한 나머지의 구성요소에 대하여 유도된 수학적 모델을 대상으로 변속제어특성을 결정짓는 클러치 및 브레이크의 압력신호만을 획득하여 실시간으로 시뮬레이션을 수행한다면 보다 실제의 변속특성에 근접한 결과의 도출이 가능할 것으로 판단된다. Fig. 1은 본 연구에서 수행된 자동변속기 실시간 시뮬레이션의 개념도를 나타낸다.

2. HILS 의 구성

승용차용 자동변속기의 유압제어 시스템을 결합하여 시뮬레이션을

수행하는 HILS에서는 비선형 미분방정식으로 기술되는 변속 동특성모델의 해를 실시간으로 구하기 위하여 수치적분에 고속연산이 가능한 DSP(digital signal processor) 를 이용하였으며, 하드웨어 및 실시간 시뮬레이션 프로그램의 세부적인 설계내용은 다음과 같다.

※ 하드웨어

TI(Texas Instrument)社에서 개발된 DSP칩인 TMS320C31-50MHz가 적용된 DSK evaluation board 를 사용하여 DSK 어셈블리로 프로그래밍하였다

TMSC31은 32bit의 부동소수점 연산이 40ns내에 이루어지므로 실시간 시뮬레이션에 적합하나 DSK evaluation

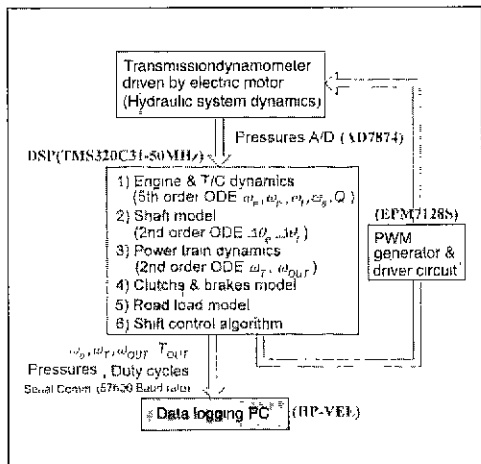


Fig 2 HILS configuration

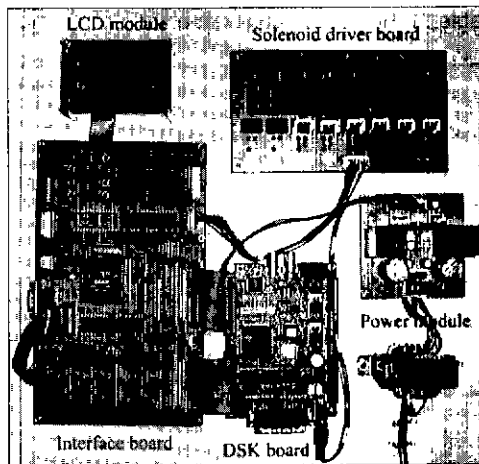


Photo. 1 HILS hardware

board에는 프로그램 개발용으로 2Kword의 내부메모리만이 지원되고 음성신호의 입출력용으로 직렬통신방식의 A/D 및 D/A 컨버터가 설계되어 있으나 변환속도가 느리며, 1채널뿐이므로 HILS를 구현하기 위하여 다음과 같은 기능을 갖는 주변회로를 설계하였다.

- (1) 32K word의 메모리 - 4개의 AS7C256(32Kx8bit)을 이용
- (2) 12bit A/D converter - 4개의 A/D 채널이 내장된 AD7874 2개 이용
- (3) 6채널의 PWM 신호발생기 - Altera社에서 개발된 EPM7128SLC-7 CPLD 이용
- (4) 직렬통신 드라이버 - MAX232
- (5) 디지털 신호 입출력 - 8255PPI 이용

- (6) LCD module - 시물레이션 데이터의 출력기능
- (7) 6개의 솔레노이드밸브 드라이버 - IRF530 트랜지스터 이용

이상과 같이 설계된 HILS에서 수행되는 실시간 시물레이션의 결과는 DSP에 내장된 직렬통신 포트를 통하여 매 10ms 마다 PC로 전송되며, PC에서의 데이터 모니터링 및 획득은 HP-VEE를 이용하여 설계하였다. Fig. 2와 Photo. 1은 본 연구에서 설계된 HILS 하드웨어의 블록선도와 외형을 나타낸다.

▶ 실시간 시물레이션 프로그램
HILS 실시간 시물레이션 프로그램에서는 PWM 신호에 의하여 발생하는 유압제어시스템의 제어압을 A/D 변환하여 동

특성모델의 수치적분을 수행하는 foreground task 기능 이외에 LCD 모듈에 데이터를 표시하고 시물레이션과 직렬통신의 개시와 종료신호를 인식하여 처리하는 기능을 background task로 구현하였다. 실시간 시물레이션의 수치적분법으로는 Euler 방법을 이용하였으며, 1ms의 타이머 인터럽트 서비스루틴에서 각 클러치/브레이크의 제어압을 A/D 변환한 후 지정된 적분시간 간격으로 수치적분을 수행하도록 설계하였다.

Table 1은 50MHz의 TMS31 DSP를 이용하여 수치적분연산 시 각 등특성모델의 수행시간을 나타낸다. 1회의 수치적분에 약 50 μ s가 소요됨을 확인하였으며 1ms 동안에 0.1ms 적분시간간격으로 10번의 반복적인 수치적분을 수행하도록 설계하였다.

Table. 1 HILS computing time for each simulation module

Simulation module	Computing time(μ s unit)
gear train	14
torque converter	19
engine dynamics	0.5
road load	376
engine torque interpolation	10(maximum)
transmission shaft	2.8
Total	50.06

3. HILS의 결과검증

설계된 HILS의 성능을 검증하기 위하여 동일한 변속조건에 대하여 PC에서 비실시간으로 수행된 시뮬레이션의 결과와 실시간으로 수행된 HILS의 결과를 비교하였다.

PC에서 수행된 시뮬레이션의 결과는 4차 Runge-Kutta 방법을 이용하였으며 적분시간간격

은 0.01ms이고 HILS의 경우에는 언급된 바와 같이 Euler의 수치적분방법으로 0.1ms의 적분시간간격을 적용하여 시뮬레이션을 수행하였다.

현재 HILS와 관련된 연구에서 Fig. 1에 나타난 전기모터로 구동되는 변속실험장치는 아직 제작이 완료되지 않은 상태이므로 임의로 설계된 변속제어압(또는 변속상황)을 입력으로 가

정하여 시뮬레이션을 수행하였다. Fig. 3은 자동변속기의 기어 열에 대하여 가상적으로 설계된 제어압을 인가하는 경우에 나타나는 변속특성이며, Fig. 4는 토크 컨버터만을 대상으로 작용하는 반력토크가 감소되는 상황에서의 시뮬레이션 결과를 나타낸다. 두 경우에서 모두 동일한 시뮬레이션 결과를 나타내었으므로 HILS의 타당성을 입증할 수 있었다.

Fig. 5는 다이내모에서 실시된 변속실험의 결과에서 측정된 제어압을 입력으로하여 유압제어시스템이 배제된 자동변속기의 모든 동특성을 고려하는 경우에 HILS의 결과를 나타낸다. 터빈속도를 피드백하는 알고리즘이 적용된 실제의 실험결과와 다소 차이는 나타났지만 HILS를 이용한 변속특성의 분석이 가능함을 확인하였다.

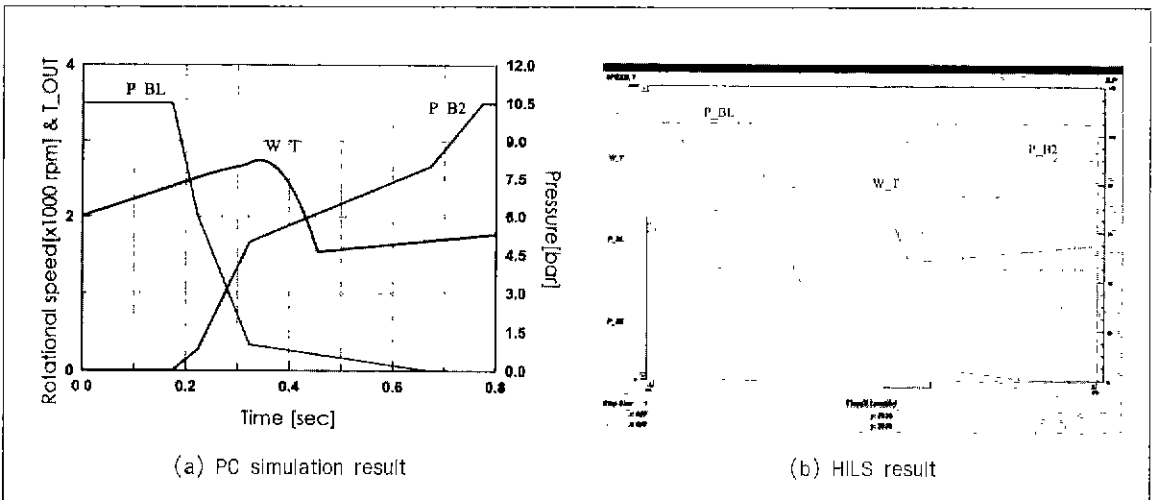


Fig. 3 Verification of HILS result for gear train dynamics

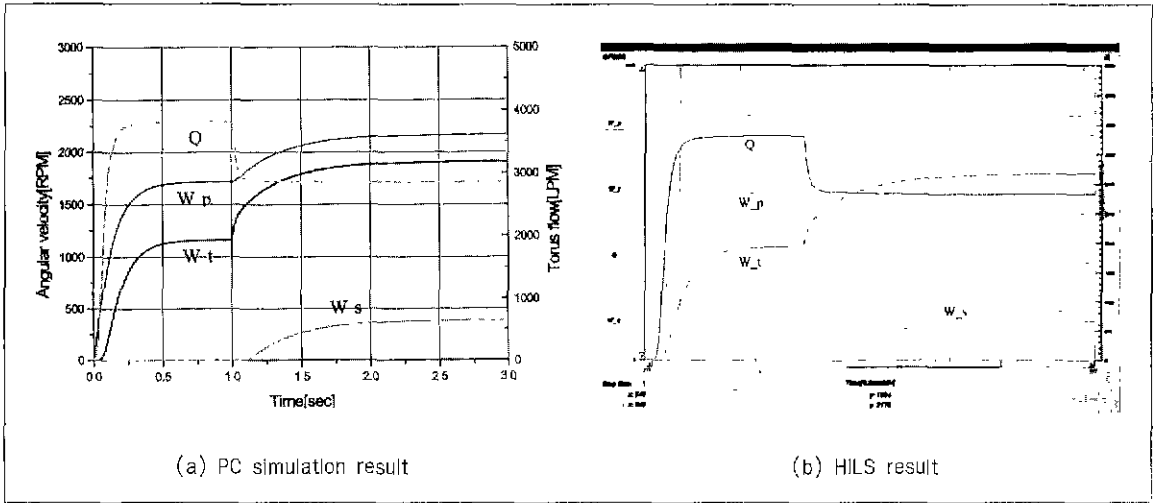


Fig. 4 Verification of HILS result for torque converter dynamics

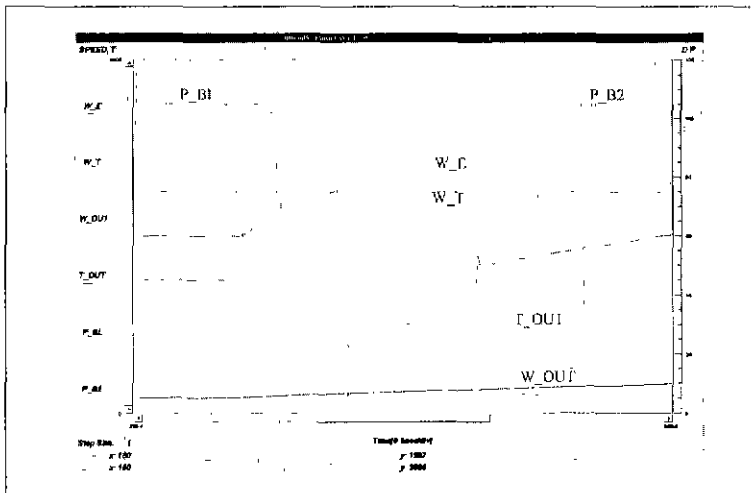


Fig. 5 HILS result for full automatic transmission shifting dynamics

4. 결론

본 연구에서는 승용차용 자동 변속기의 변속제어특성 시뮬레이션을 보다 실제의 실험결과에 근사하게 수행하기 위하여 수학적 모델의 차수가 높고 물성치 변화에 따라 응답특성의 차이가

큰 유압제어시스템을 실제의 하드웨어로 대체하고 나머지 변속 특성모델에 대하여 실시간 시뮬레이션을 수행하는 HILS를 설계, 제작하였으며, 동일한 변속 상황에서 나타나는 변속특성 시뮬레이션을 PC에서 비실시간으로 수행된 프로그램의 결과와

HILS의 결과를 비교하여 개발된 HILS의 성능을 검증하였다. 향후에는 전기모터로 구동되는 다이내모를 제작된 시스템과 결합하여 HILS를 이용한 실시간 변속시뮬레이션의 성능을 검증할 예정이다.

<정규훈교수:ghjung@road.daejin.ac.kr>