

농업용 트랙터 변속기의 전후진 파워시프트 변속 특성 해석

Analysis of power shuttle characteristics of agricultural tractor transmission

김대철*	이호상**	김경욱**
정회원	정회원	정회원
D. C. Kim	H. S. Lee	K. U. Kim

1. 서론

파워시프트 트랙터는 선진국에서는 이미 60년대부터 보급되기 시작하여 수동 변속기 다음으로 널리 보편화되어 있다. 그러나 국내에서는 최근 파워시프트 변속기를 장착한 트랙터가 일부 수입되어 보급되기 시작하였으며, 국내 농업기계 제조업체에서도 외국 업체와 기술 제휴 또는 자체적으로 파워시프트 변속기를 개발하고 있다. 이는 국내에서 파워시프트 변속기에 대한 요구가 점차 증가되고 있으며, 트랙터를 수출하기 위해서는 파워시프트 변속기가 필수적이기 때문에 판단된다. 따라서 파워시프트 변속기에 대한 기술 개발과 국산화는 농업기계 산업이 당면한, 시급히 해결해야 할 과제중 하나이다.

현재 국내 농업기계 업체들은 파워시프트 변속기 개발에 있어서 여러 가지 시행착오를 겪고 있다. 그 중에서도, 특히, 원활한 전후진 변속이 가장 중요한 과제이다. 전후진 변속은 일반 변속에 비하여 가혹한 부하가 클러치에 작용하기 때문이다. 당면한 문제를 보다 효율적으로 해결하기 위해서는 파워시프트 변속기에 대한 해석 기술 개발이 중요할 것으로 판단된다. 본 연구는 전후진 파워시프트 변속에 대한 시스템 해석 기술을 개발하기 위하여 시도되었다.

2. 재료 및 방법

전후진 변속시 발생하는 변속 과도 특성을 실험적으로 구명하기 위하여 Fig. 1에서와 같이 변속기 시험장치를 제작하였다. 시험 결과는, 또한, 변속기 모형의 유효성을 검증하는데 이용할 수 있도록 하였다. 시험장치는 모터, 변속기, 등가 관성 질량, 직류 동력계로 구성하였으며 입력축 회전 속도와 토크, 출력축 회전 속도와 토크, 변속기의 라인 압력과 전후진 압력, 오일 온도 등을 측정할 수 있도록 계측 장치를 설치하였다.

유압 제어 시스템의 모델링 - 유압 제어 시스템은 EASY5를 이용하여 Fig. 2에서와 같이 모델링하였다.

* 한국기계연구원 산업기술부 유공압연구 GROUP

** 서울대학교 농업생명과학대학 생물자원공학부 농업기계전공

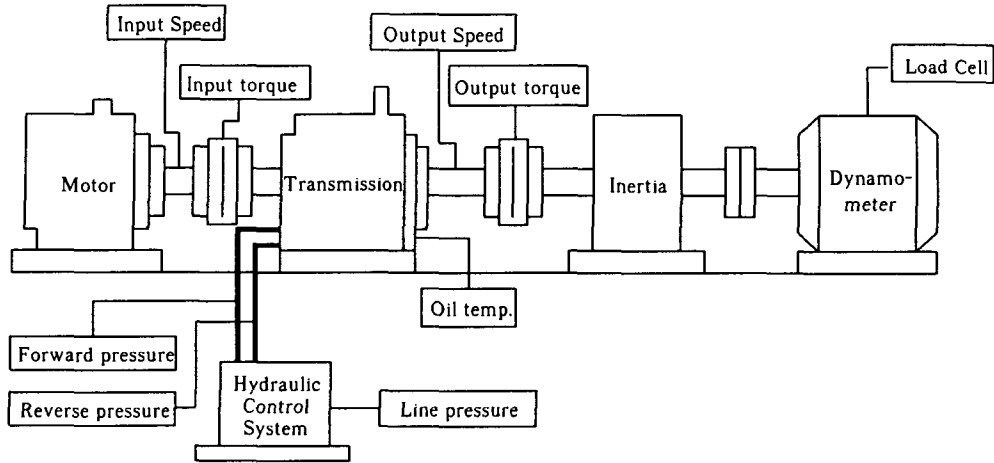


Fig. 1 Schematic diagram of test rig for powershift transmission.

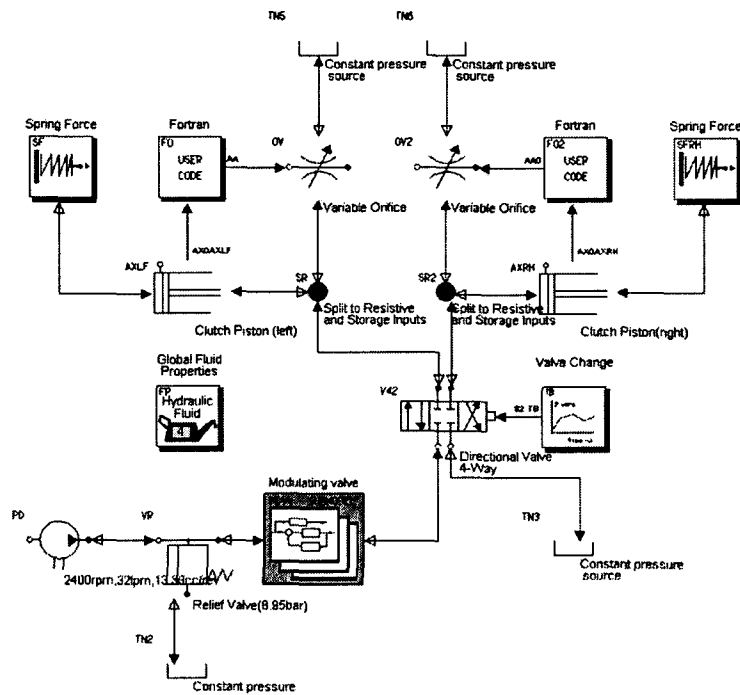


Fig. 2 Modeling of hydraulic control system using EASY5.

시뮬레이션 결과, 클러치의 압력 변화는 Fig. 3에서와 같이 예측되었다. 이를 Fig. 4의 실제 측정 결과와 비교하면 압력 변화의 경향은 일치하였으며, 피크점 및 모듈레이팅 시간에 대한 오차는 라인 압력이 일부 지점에서 32%로 큰 오차를 보이지만 클러치 압력은 8% 이하로 양호하게 나타났다.

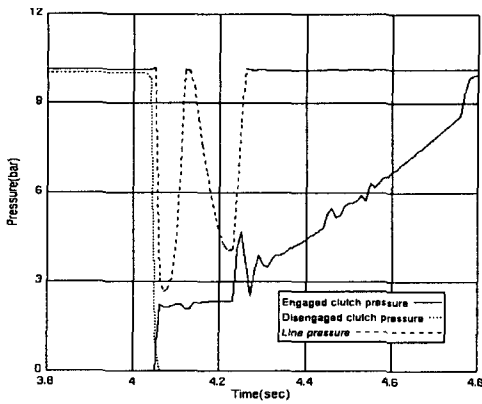


Fig. 3 Simulated clutch pressure during forward and reverse shifting.

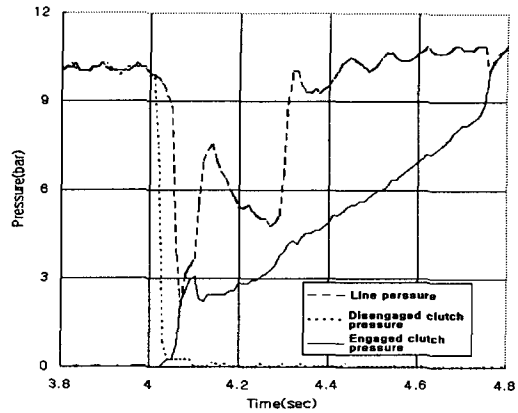


Fig. 4 Measured clutch pressure during forward and reverse shifting.

전후진 변속기 모델링 - 본 연구에서 사용한 전후진 변속기 시스템은 Fig. 5에서와 같이 클러치팩, 기어, 축 등으로 구성되어 있다. Fig. 6은 EASY5를 이용하여 전후진 변속기를 모델링한 것이다.

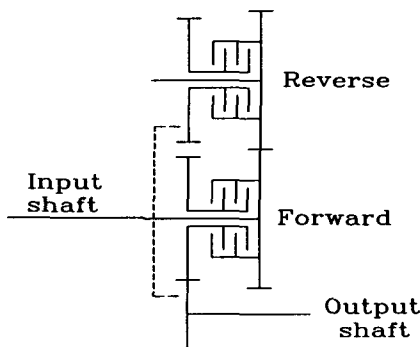


Fig. 5 Schematic diagram of shuttle powershift transmission.

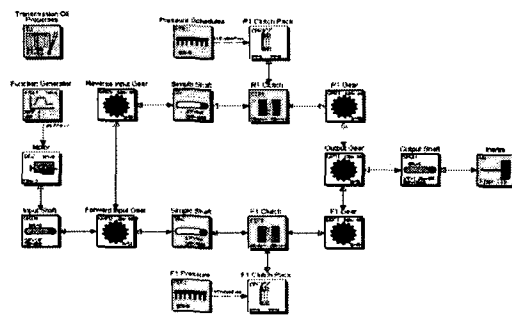


Fig. 6 Modeling of shuttle powershift transmission.

트랙터의 등가관성을 부착한 상태에서 전진 출발 및 전진에서 후진 변속시 Fig. 1에서와 같이 각 센서로부터 물리량을 측정하였다. 입력축의 회전 속도는 800 rpm, 오일의 온도는 45 °C로 하였다. 등가 관성 질량 모멘트는 0.019, 0.070, 0.115, 0.166 kg.m²으로 변화시켰다. Fig. 10, 11은 등가 관성 모멘트가 0.115 kg.m²일 때 전진에서 후진으로 변속하였을 때 시험 결과와 시뮬레이션 결과를 나타낸 것이다. 모델 검증에 위한 변속 시험 결과, 질량 관성 모멘트 변화에 따른 속도 및 토크 특성이 해석 결과와 유사하므로 이를 트랙터 통합 시뮬레이션에도 사용할 수 있다고 판단되었다.

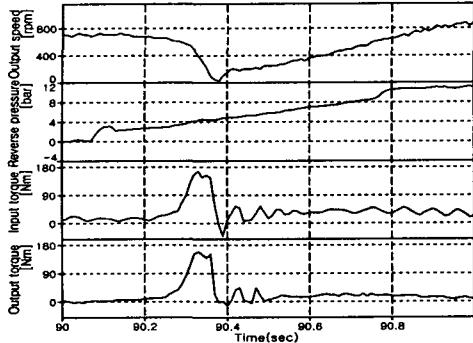


Fig. 7 Measured torque, pressure and speed at reverse change.

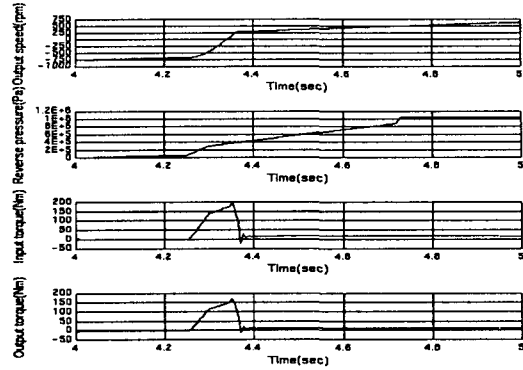


Fig. 8 Simulated torque, pressure and speed at reverse change.

트랙터 통합 모델 - 통합 시뮬레이션의 대상 트랙터는 40 kW 4륜구동 트랙터로 하였다. 일반적으로 파워시프트 트랙터는 엔진, 유압클러치, 기어, 축 등으로 구성되어 있다. EASY5를 이용하여 모델링한 트랙터 통합 모델은 Fig. 9에서와 같다.

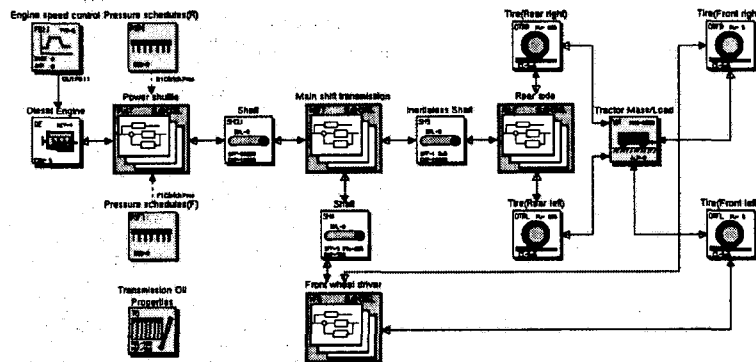


Fig. 9 Powershift shuttle tractor model.

3. 결과 및 고찰

설계 및 제어 변수가 동적 특성에 미치는 영향 - 개발된 트랙터의 통합 모델을 이용하여 주요 설계 및 제어 변수 즉, 유압 제어 압력 특성, 엔진 속도, 트랙터 속도, 트랙터 중량, 로더 부가 중량, 전후진 속도비, 입력축 비틀림 댐퍼, 유압 클러치의 마찰 계수 특성을 변화시키면서 전진 출발 및 전후진 변속시 발생하는 과도 특성의 변화를 고찰하였다.

설계 및 제어 변수를 변화시키기 전에 먼저 설계 및 제어 변수의 표준값을 설정하여 시뮬레이션을 실시하였다. 이 표준 값은 실험 조사 결과를 이용하여 설정하였다.

표준값의 압력 곡선은 Fig. 10에서와 같이 모듈레이팅이 끝나는 시점의 압력은 8 bar

($\approx 8E+5$ Pa), 시간은 1.5초로 하였다. 표준값을 이용한 시뮬레이션 결과, 전진 출발 및 후진 변속시 엔진 속도, 트랙터 속도, 가속도, 저크의 변화는 Fig. 11에서와 같다. 전후진시 가속도는 $0.75g$ 로서 전진출발시 가속도에 비하여 50% 증가되었다. 또한 저크값도 650 m/s^3 으로 전진 출발에 비하여 650% 크게 나타났다. 따라서, 변속 충격은 전후진할 때가 전진 출발에 비하여 상당히 큰 것으로 판단된다.

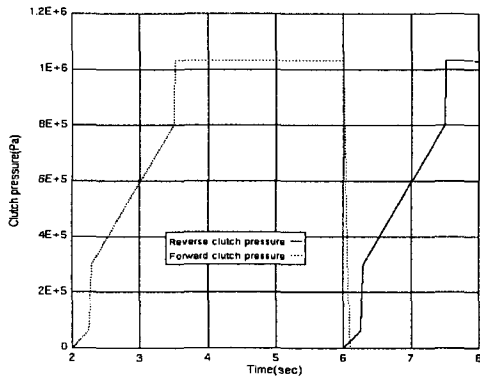


Fig. 10 Standard clutch pressure.

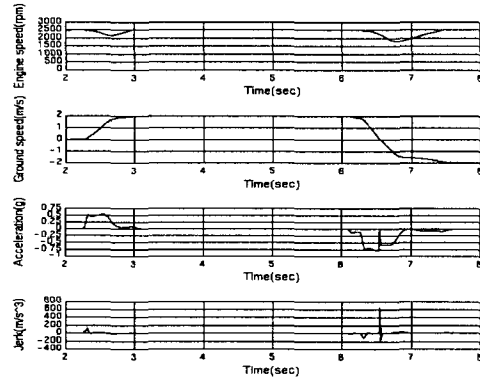


Fig. 11 Result of simulation.

전후진 유압 클러치의 토크 용량과 실제의 토크의 변화는 Fig. 12에서와 같다. 입력축과 전,후 차축의 토크 변화는 Fig. 13에서와 같다. 전후진할 때에 최대 토크는 전진 출발에 비하여 입력축은 20%, 차축은 30% 높게 나타났다.

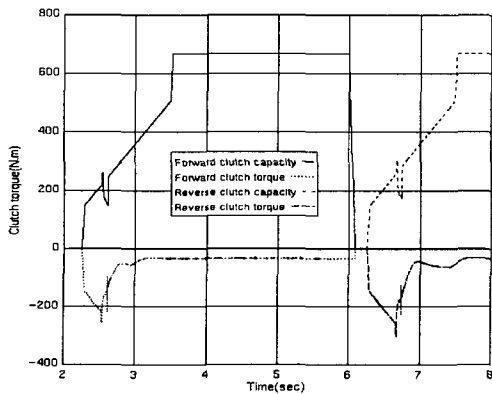


Fig. 12 Clutch torque.

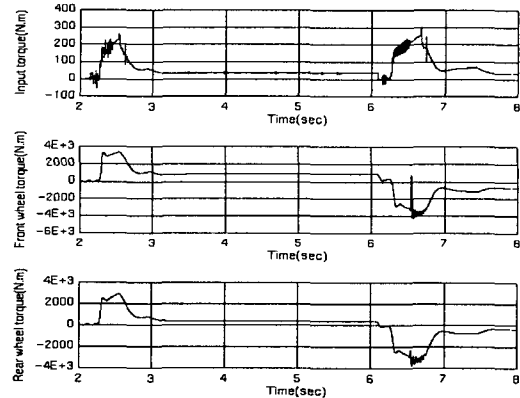


Fig. 13 Input and wheel torque.

전륜과 후륜의 슬립은 Fig. 14에서와 같다. 전진 출발에 비하여 후진시 슬립이 크게 발생하였다. 이것이 토크 변동과 저크 발생에 영향을 미치는 것으로 판단된다. 전후진 클러치를 설계할 때 가장 중요한 값인, 전후진 유압 클러치의 단위 면적당 출력은 Fig. 15에서와 같이 나타났다. 전후진시 최대값은 $9 \times 10^5\text{ W/m}^2$ 로서 전진 출발에 비하여 2배인 것으로 나타났다.

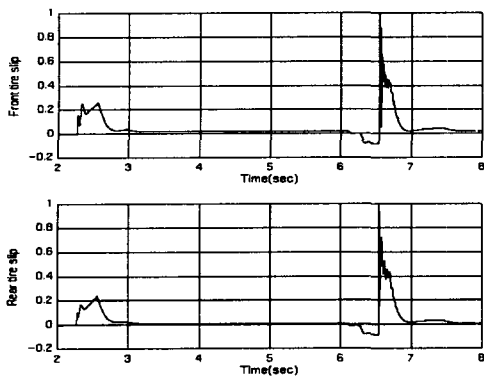


Fig. 14 Tire slip.

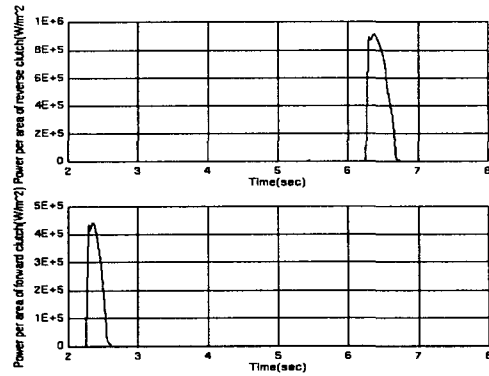


Fig. 15 Clutch power.

결과 - 엔진, 변속기, 차체, 타이어, 작업기 등을 포함하는 트랙터 통합 시뮬레이션을 실시하여 설계 및 제어변수의 변이에 대한 고찰 결과는 다음과 같다.

- 1) 클러치 제어 압력 특성은 입출력 토크 변동, 변속 시간, 클러치 흡수 동력 등의 변속 특성에 지대한 영향을 주었다.
- 2) 엔진의 속도, 트랙터 속도, 전후진 변속비가 증가할 수록 변속시 발생하는 클러치 흡수 동력과 변속기 입력축 토크는 증가하였으나, 차축 토크는 타이어 슬립의 영향을 크게 받음으로 인하여 그 경향이 일정치 않았다. 트랙터 중량 증가는 클러치 흡수 동력에는 영향이 없었으며 차축 토크의 증가에 큰 영향을 주었다.
- 3) 엔진과 변속기 입력축 사이의 비틀림 댐퍼는 변속 직후 발생하는 과도 토크를 크게 감소시킬 수 있었다. 그러나 댐핑 계수의 변화에 따른 영향은 없었다.
- 4) 유압 클러치의 마찰 계수 특성은 변속기 입력축 토크에 큰 영향을 주었다.

4. 요약 및 결론

트랙터용 전후진 파워시프트 변속기의 개발을 위해서는 사용조건, 설계 조건에 맞는 유압제어 시스템 설계가 중요하며, 이를 위해서는 해석적 방법을 통하여 변속시 발생하는 클러치 흡수동력, 입출력 토크, 가속도와 저크 등에 대한 고찰이 필요하다고 판단된다.

5. 참고문헌

1. 김대철. 2002. 농업용 트랙터 변속기의 전후진 파워시프트 변속 특성 해석. 박사학위 논문. 서울대학교 대학원
2. 김영덕. 1994. 궤도차량용 자동변속기의 동적특성해석. 박사학위 논문. 서울대학교 대학원
3. Ciesla, C. R. and M. J. Jennings. 1995. A modular approach to powertrain modeling and shift quality analysis. SAE Paper No. 950419