

트랙터용 파워시프트의 전·후진 변속 동특성 해석

Analysis of shuttle characteristics of agricultural tractors powershift transmission

이호상*	정병학*	김경욱*
정회원	정회원	정회원
H. S. Lee	B. H. Chong	K. U. Kim

1. 서론

부하변동이 크고 전·후진 작업이 많아 잦은 변속이 요구되는 트랙터 작업의 특성에 의해 작업성과 효율, 양 측면에서 다루어진 변속 방식이 파워시프트를 이용한 변속방식이다. 세계적으로 60년대 이후부터 보급되기 시작하여 수동 변속기 다음으로 보편화되어있는 이 변속 방식은 특히 대형 트랙터에 기본으로 장착되어야 하는 것으로 여겨지고 있기 때문에, 해외수출을 위해서는 반드시 장착되어야 하는 것으로 받아들여지고 있다. 그러나 우리나라에서는 최근에야 트랙터용 파워시프트의 국산화를 위한 개발과정에서 연구가 이루어지고 있는 실정이고, 개발 중에 직면하는 다양한 문제는, 파워시프트 변속기에 대한 이해와 해석 기술의 부족에 기인한 것으로 생각된다. 그러므로, 파워시프트 변속기에 대한 시스템 해석 기술을 개발, 제공하는 것이 필요할 것으로 판단된다.

파워시프트 변속기를 개발하는 중에서도 전·후진 변속이 가장 큰 문제로 대두되고 있는데, 농작업의 특성상 전·후진 변속이 잦아 일반 변속에 비해 혹독한 부하가 클러치에 작용하기 때문이다. 따라서, 전·후진 변속에 대한 연구가 우선적으로 시행되어야 할 것으로 판단된다. 본 연구는 파워시프트 변속기의 전·후진 변속에 적합한 상세 모델을 개발하고, 변속시 각 구성 요소의 동적 특성과 변속 품질에 영향을 미치는 주요 변수들의 특성을 보다 상세히 구명하는데 그 목적이 있다.

2. 재료 및 방법

전·후진 변속기의 적절한 설정값을 실험적으로 구명내기 위하여 아래의 그림 1에서와 같이 시험 장치를 구성하였다. 시험 결과는, 또한, 변속기 모형의 유효성을 검증하는데 이용할 수 있도록 하였다. 시험장치는 엔진, 변속기, 등가 관성 질량으로 구성하였다.

* 서울대학교 농업생명과학대학 생물자원공학부 농업기계전공

2.1. 변속기 시험 장치

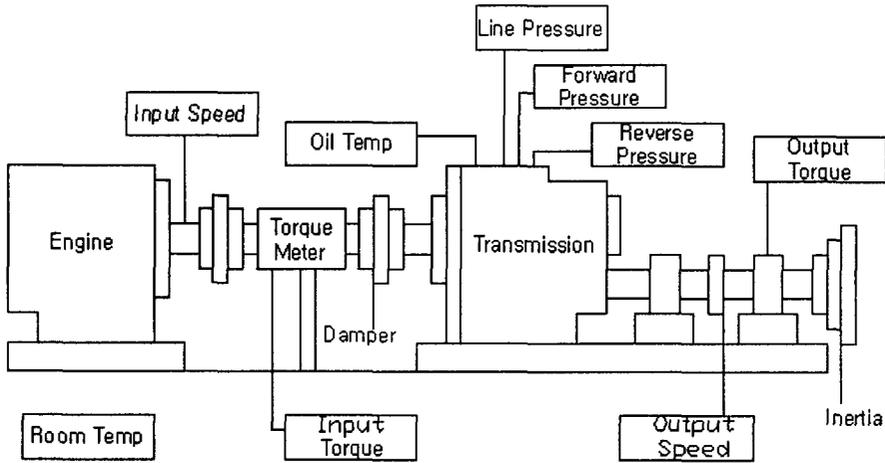


Fig. 1. Schematic diagram of the powershift transmission test rig.

그림 1에서 보는 바와 같이 사각형의 박스로 표시되어진 위치에 입력축 회전 속도와 토크, 출력축 회전 속도와 토크, 변속기의 제어 압력과 전·후진 압력, 오일 온도 등을 측정할 수 있도록 계측 장치를 설치하였다.

이전의 연구에서는 모터를 사용하여 변속 특성을 알아보았다. 본 연구에서는 엔진을 장착하여 고출력, 고온에서 파워시프트 변속기의 특성을 알아본다. 또, 모터에서는 나타나지 않았던 엔진의 토크 특성이 변속 성능에 미치는 영향을 확인한다. 엔진은 경운기용으로 사용되는 국제의 10마력 횡형 수냉 4사이클 디젤 엔진인 KD140을 이용하였다. 트랙터용 파워시프트 변속기의 특성을 구명하기 위해서는 트랙터용 엔진을 사용하는 것이 엔진 특성에 맞겠지만, 마력수나 배기량이 클수록 속도 제어가 어렵고 토크가 크기 때문에, 같은 디젤 엔진의 특성을 나타내는 경운기용 엔진을 사용하였다.

그림 1을 보면, 엔진과 토크미터, 그리고 변속기의 순으로 연결되어 있고, 그 사이에 댐퍼가 장치되어 있다. 이는 엔진과 토크미터, 변속기가 완전히 일렬로 연결되지 못하는 한계를 극복하고, 엔진의 고유진동과 일렬로 정렬하지 못한 채 회전하는 입력축에 의한 진동을 감소시키는데 목적이 있다. 이 댐퍼에는 플렉시블 조인트를 사용하였다.

트랙터는 일반적으로 출발 또는 변속할 때 엔진 트로틀(throttle)은 거의 일정하게 유지하기 때문에 엔진을 정적 성능 곡선으로 모델링하여도 과도 응답을 예측하는 데는 큰 무리가 없다. (윤찬재, 1998) 따라서, 변속기의 변속 특성을 주 관심대상으로 하고 있는 본 연구에서는 엔진 모델을 단순화하기 위하여 정적 성능 곡선만을 고려한다. 엔진의 정적 성능 곡선은 공회전 할 때의 회전수와 토크, 최대 토크시의 회전수와 토크, 정격 회전시의 회전수와

토크, 그리고 공회전 및 정격 회전시 토크 곡선의 기울기를 이용하여 전체 트로틀에 대한 토크맵을 작성한 것이다. 그림 2는 일반적인 토크맵을 나타낸 것이다.

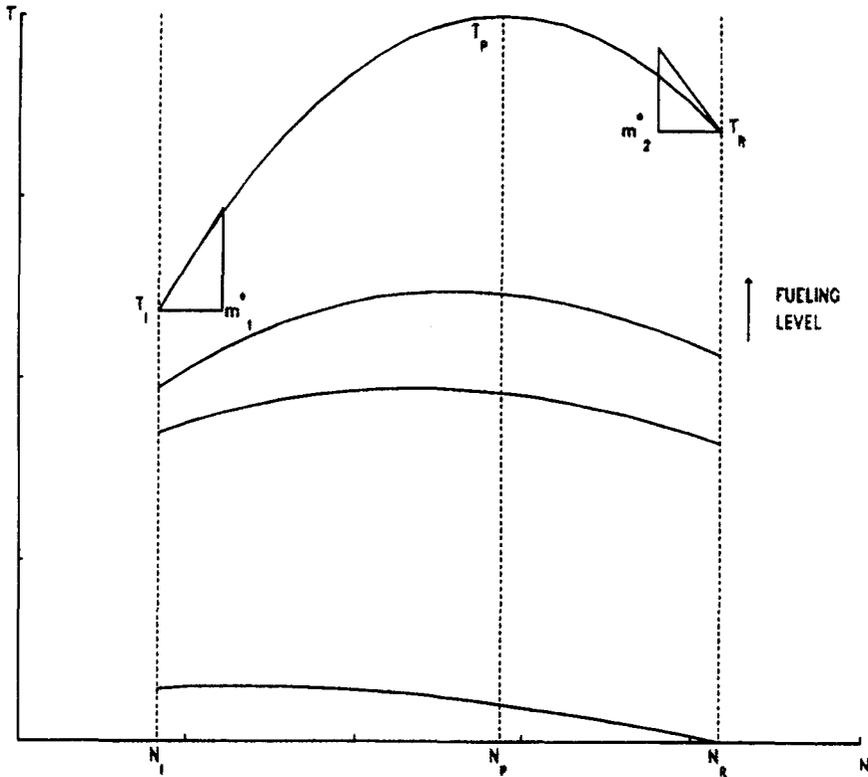


Fig. 2. Torque map

트랙터의 등가관성을 부착한 상태에서 전진 출발 및 전진에서 후진 변속시 그림 1에서와 같이 각 센서로부터 물리량을 측정한다. 입력축의 회전 속도는 1200 rpm ~ 2200 rpm 까지 5~8개의 다단계, 오일의 온도는 45 °C ~ 85 °C 사이의 작업상 유효한 온도 하에서 다단계로 나누어 그 특성을 측정한다. 등가 관성 질량 모멘트는 0.019, 0.070, 0.115, 0.166 kg.m²으로 변화시킨다.

2.2. 파워시프트 변속기 모델의 설계

파워시프트 변속기의 설계에는 유압 제어 시스템과 전·후진 파워시프트의 크게 두 부분으로 나눌 수 있다. 본 연구에서는 유압 제어 시스템과 전·후진 파워시프트 모델을 제작하고, 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 주요 설계 변수의 특성을 구명한 뒤, 검증 실험을 실시한다.

2.2.1. 유압 제어 시스템

유압 제어 시스템은 기존의 변속기에 장착된 것을 기본으로 하여 시뮬레이션 하는데, 아래 그림 2와 같이 펌프, 필터, 메인 밸브, 인칭 밸브, 모듈레이팅 밸브, 선택 밸브, 전·후진 클러치, 고정 오리피스 등으로 구성하였다. 유압제어 시스템에서는 클러치의 압력을 서서히 증가시켜 변속을 원활하게 하는 모듈레이팅 밸브의 기능이 가장 중요하다.

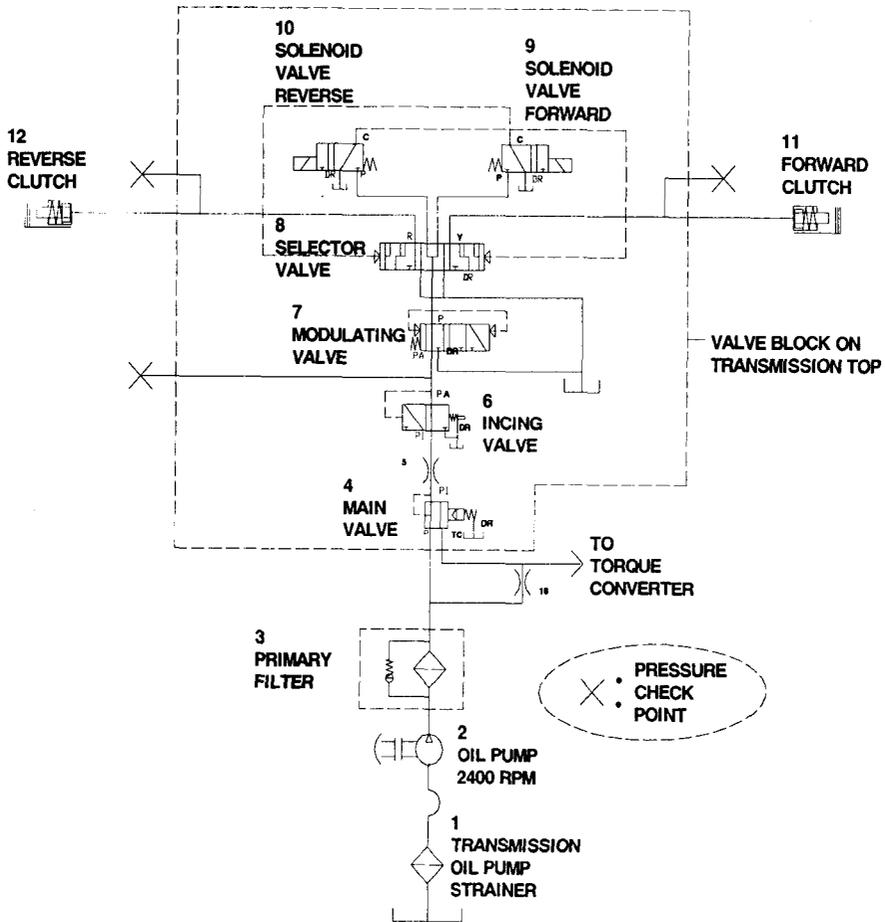


Fig. 3 Circuit diagram of hydraulic control system.

유압 제어 시스템을 설계할 때 가장 중요한 설계 변수는 아래와 같다.

1) 모듈레이팅 밸브 : 모듈레이팅 밸브는 아래 그림 3에서 보는 것과 같이 오리피스, 스프링, 로드 피스톤, 모듈레이팅 밸브, 반작용 플러그로 구성되어 있다. 클러치 압력을 변속기의 최대압까지 서서히 증가시켜 클러치가 원활하게 접속할 수 있도록 한다.

로드 피스톤과 모듈레이팅 밸브의 주요 설계 변수는 댐핑(Damping coefficient), 이동거

리(Maximum displacement), 질량(Mass), 스프링(Spring rate & preload), 피스톤 단면적(Piston area) 등이다. 이 중에서 로드 피스톤의 스프링 계수와 변위는 모듈레이팅이 끝나는 시간과 압력을 제어하는 주요 설계 변수이다.

2) 릴리프 밸브 : 릴리프 밸브의 주요 설계 변수는 크래킹 압력(Cracking pressure), 작동 압력(Pressure when valve begins to open) 이다. 이것은 유압 제어 시스템의 최대 압력을 정하고 시스템을 과도한 압력으로부터 안전하게 하는 역할을 한다.

3) 고정 오리피스 : 오리피스의 직경(Orifice hydraulic diameter)은 일정한 압력과 원활한 유량 공급을 유지시키는데 아주 중요하다.

4) 클러치 피스톤 : 피스톤의 단면적(Piston area facing fluid)과 질량(Piston mass), 피스톤의 위치(Maximum & Minimum value of piston position), 점성계수(Viscous damping coefficient) 등이 주요 설계 변수이다. 또, 피스톤의 댐핑(Clutch piston damping)은 초기압을 결정짓는 설계 변수이다.

5) 피스톤 스프링 : 피스톤을 작동시키는 스프링 상수(Spring coefficient)와 초기장력(Preload when uncompressed)는 변속 시간을 결정짓는데 중요한 설계 변수이다.

2.2.2. 전 · 후진 파워시프트

본 연구에서는 대우중공업의 지게차용 변속기를 검증 실험에 사용하고자한다. 현재 국내 파워시프트 트랙터는 개발 중에 있기 때문에 실제 트랙터용 파워시프트 변속기를 사용하는 데는 무리가 있다. 따라서, 트랙터와 같이 높은 부하에서 전 · 후진 작업을 하는 지게차의 파워시프트 전 · 후진 변속기를 이용한다. 지게차 모델명은 D/G 25S로서 전 · 후진 각 1단이다. 변속기 전체의 동력전달장치 단면도는 그림 4와 같다.

전 · 후진 파워시프트를 설계할 때 가장 중요한 설계 변수는 아래와 같다.

1) 유압 클러치 : 유압 클러치는 유압 클러치 팩과 클러치로 나누어져 있다.

유압 클러치 팩은 피스톤과 스프링으로 구성되어 있으며, 피스톤의 변위와 스프링 상수는 중요한 설계 변수이다. 클러치의 마찰 특성은 파워시프트 변속기 모델을 결정짓는 중요한 설계 변수이다. 마찰 특성은 슬립에 따른 마찰계수로 나타낼 수 있다. 클러치의 관성도 중요한 설계 변수가 된다.

2) 기어 : 입력축, 전 · 후진 축에 장착되어져 있는 기어의 관성과 질량은 주요 설계 변수이다.

3) 오일 : 오일 특성은 압력과 온도에 따라 밀도, 동점도, 체적 탄성 계수의 변화로서 나타나며, 그래프 형태로 모형화 된다.

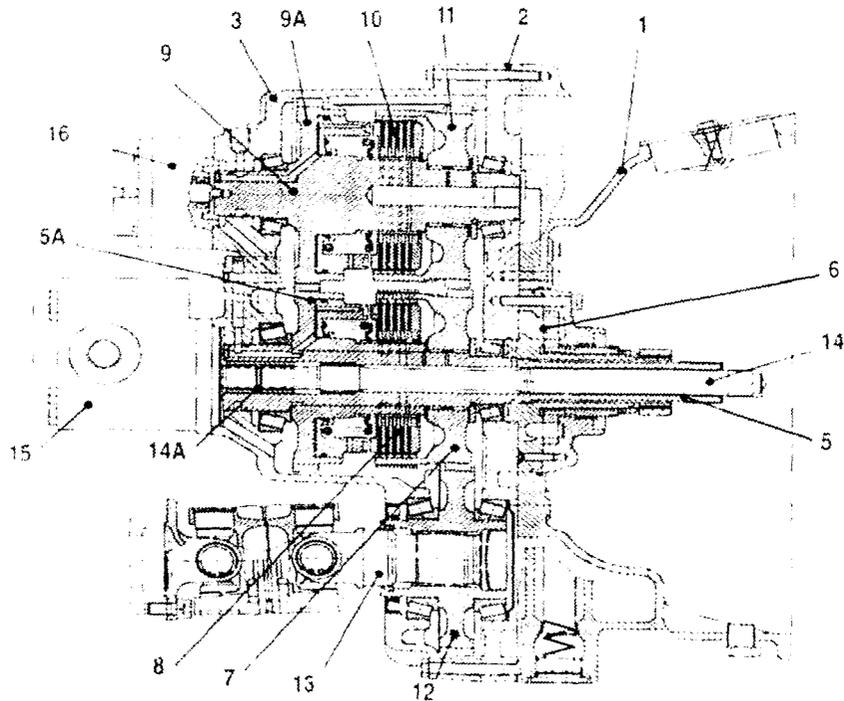


Fig. 4 Section view of shuttle powershift transmission.

- (1) TC housing (2) TM bearing plate (3) TM housing (5) Input shaft (5A) Input shaft gear (6) Oil pump (7) Forward gear (8) Forward clutch (9) Reverse shaft (9A) Reverse shaft gear (10) Reverse clutch (11) Reverse gear (12) Output gear (13) U-joint (14) Quill shaft (15) PTO pump (16) Axle lubrication pump

3. 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.

4. 참고문헌

1. 김대철. 2002. 농업용 트랙터 변속기의 전후진 파워시프트 변속 특성 해석. 박사학위 논문. 서울대학교 대학원
2. 김영덕. 1994. 레도차량용 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