

EASY5를 이용한 트랙터 파워시프트 변속기 시뮬레이션

Simulation of A Powershift Transmission of Tractor Using EASY5

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

1. 서론

파워시프트는 세계적으로 편의성과 작업 효율 측면에서 트랙터 변속기로서 각광을 받고 있다. 최근 국내 농기계 제조업체들도 외국 업체와 기술 제휴를 통해 파워시프트 변속기를 개발 중에 있다. 그에 따라 파워시프트 변속기 기술 개발은 중요한 과제가 되었다.

파워시프트 변속기는 운전자의 감각과 판단력에 의존하여 변속하는 수동 변속기에 반해 엔진의 회전수, 차량속도, 작업조건 등에 의해 변속시점 및 변속방법의 결정이 필요하게 된다. 만약, 설계가 잘못되면 변속 도중 운전자가 예기치 않은 변속과도특성이 나타나 변속의 질(shifting quality)을 저하시킨다. 또한 이러한 변속과도특성은 일반적으로 정상작업부하보다도 크게 나타나게 되기 때문에 파워시프트 변속기 설계에 장애요인이 되고 있으며 장기간 사용에 따라 내구수명의 저하 및 운전자에게 피로를 유발하게 한다.

이러한 변속과도특성을 연구하기 위해서는 습식다판클러치, 유압제어장치 뿐 아니라 트랙터 전체 시스템에 대한 모델링 및 시뮬레이션이 필요하다. 이 중에서도 유압제어압력 특성이 변속과도특성에 큰 영향을 미치는 것으로 연구되었다.(김영덕,1994)

본 연구의 목적은 트랙터 파워시프트 변속기의 특성을 효과적으로 해석할 수 있는 모델을 모듈화된 시스템 해석 소프트웨어인 EASY5를 이용하여 개발하고, 시뮬레이션을 수행함으로써 유압제어압력의 변화가 변속기의 성능에 미치는 영향을 미리 예측하고 문제점을 파악하고자 하는 것이다.

2. 재료 및 방법

EASY5 - 동력학 시스템의 수치해석 시뮬레이션은 차량은 동력전달기구의 설계 및 해석에 있어서 효과적인 방법으로 많이 사용되고 있다. 과거에는 이러한 수치해석을 위한 프로그램을 그 목적에 맞게 각각 개발함으로써, 복잡한 수식의 코딩과 디버깅에 많은 시간과 노력이 투입되었다. 본 연구에서 사용된 EASY5는 미국 보잉(Boeing)사에서 개발된 동력학 시스템 해석 소프트웨어로서, 기존의 상태방정식을 이용하는 모델링과 달리 전문 시스템 라이브러리의 컴포넌트를 그래픽 환경하에서 클릭하여 연결함으로써 모델링 및 해석을 수행할 수 있다. 따라서 변속장치 개발 기간을 단축할 수 있으며 다양한 요소와 시스템 구성에 대

* 서울대학교 생물자원공학부 농업기계전공

한 유연한 시뮬레이션을 빠르고 안전하게 수행할 수 있다. 이 도구는 현재 파워시프터 변속기와 디젤엔진을 장착한 로의 차량을 모델링에 많이 사용되고 있다.

트랙터 제원 - 본 연구의 대상 트랙터는 국내에서 많이 판매되고 있는 40 마력급 표준 트랙터로서 주요 제원은 표 1과 같다. 본 연구에서는 현재 수동 변속 트랙터의 견인부하 작업단수(고속1,2단)를 파워시프터로 변경하는 경우를 연구하였다.

Table 1. Specifications of tractor

Driving type		4 wheel drive
Engine	Power	41 ps
	Rated speed	2600 rpm
Total weight		2000 kg
Wheel base		1900 mm
Tire	Front	8 x 18
	Rear	13.6 x 28

모델링 - EASY5를 이용한 트랙터 전체 모델과 파워시프터 모델은 그림 1,2와 같다. 전체 모델은 엔진, 변속기 입력부, 파워시프터부, 차동기어 및 최종감속부, 타이어, 차량 등으로 구성되어 있다. 이 중 파워시프터는 클러치팩, 기어, 축 등으로 구성되어 있다.

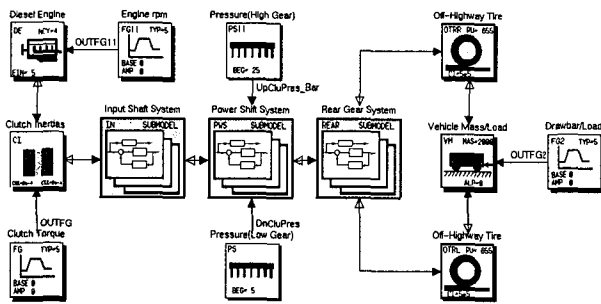


Fig. 1. Model of powershift tractor.

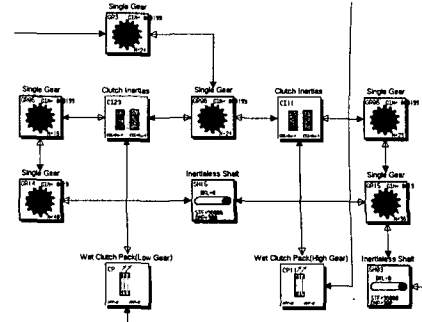


Fig. 2. Powershift model.

클러치팩 - 클러치팩 모델은 유압 피스톤과 스프링 리턴식 습식 클러치팩으로 구성되어 있으며 그림 3와 같이 표현된다. 이 모델은 클러치의 토크를 결정하기 위해 피스톤의 움직임과 클러치 플레이트에 가해지는 힘을 계산해 낸다. 즉, 피스톤이 플레이트를 최대한 밀면 피스톤의 움직임은 멈추고 플레이트에 가해지는 힘에 의해 토크가 구해진다. 라인 압력은 8bar, 클러치 용량은 정격 토크의 2.3배로 설계하였다.

엔진 - 트랙터는 일반적으로 출발이나 변속 중 엔진 드로틀(throttle)은 거의 일정량을 유지하고 있으므로 엔진을 정적성능 곡선으로 모델링하여도 과도 응답의 예측에는 무리가 없다. (윤찬재, 1998) 따라서 변속기의 변속 특성을 주된 관심대상으로 하는 본 연구에서는 단순화된 엔진모델을 위하여 엔진의 정특성 곡선을 이용해 전체 드로틀에 대한 토크맵을 그림 4와 같이 작성하였다.

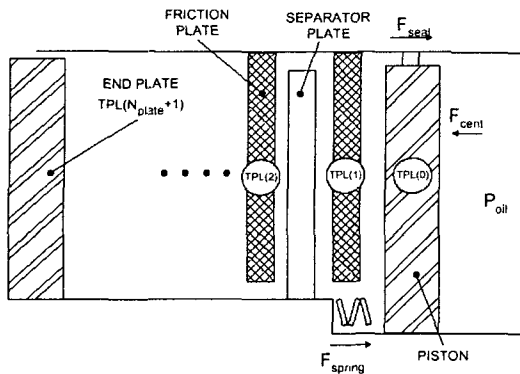


Fig. 3. Clutch pack model.

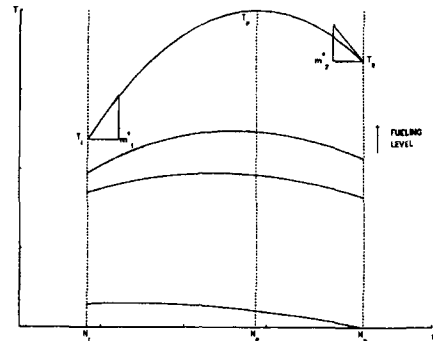


Fig. 4. Generated torque map.

타이어 - 구동륜과 토양 사이의 슬립과 견인력 그리고 구름저항의 관계를 모델링하는 타이어 모델은 그림 5와 같다. 토양과 바퀴사이의 슬립과 구름저항 및 견인력 계산은 Wismer and Luth(1974)식을 John Deere사에서 개량한 식을 이용하였다.(Anderson, 1997)

차체 - 트랙터 차체에 대한 모델은 가속도에 의한 전후륜의 무게 전이와 직진 주행을 모델링한 것으로 경사와 견인 저항도 고려하였다. 모델은 그림 6과 같다.

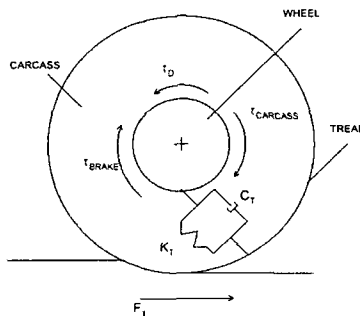


Fig. 5. Tire model.

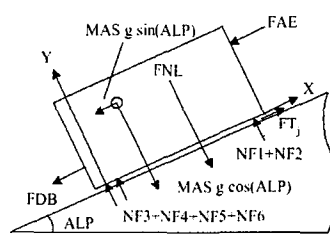
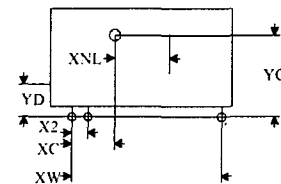


Fig. 6. Tractor mass and load model.



시뮬레이션 - 트랙터의 경우에는 저속에서 최대 견인력으로 작업할 때 변속이 원활해야 한다. 본 연구에서는 쟁기 작업조건을 가정하여 작업부하 7000N으로 7.12 Km/h (1.98 m/s)에서 9.58 Km/h (2.66 m/s)로 변속했을 때 클러치팩 압력 특성에 따른 변속 특성을 고찰하였다. 클러치팩 압력 특성은 그림 7과 같이, 동력이 단절되는 클러치는 0.5초 동안 점차적으로 감소하고, 동력이 접속되는 클러치는 2초 동안 점차적으로 증가하는 형태를 설정하였다. 그리고, 정상적인 변속을 기준으로 접속되는 클러치가 0.55초 빠른 경우와 느린 경우를 비교 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

클러치 토크 및 압력 특성 - 일반적으로 정상적인 변속의 경우, 접속되는 클러치의 토크 용량은 그림 8과 같이 단절되는 클러치의 연결이 완전히 끊어지기 전에 점진적으로 상승하기 시작한다. 즉, 접속되는 클러치의 토크가 단절되는 클러치를 통해 전달되어야 할 토크를 줄여주게 된다. 이렇게 함으로써 견인부하 조건에서도 정지하지 않고 부드럽게 변속이 가능하게 된다.

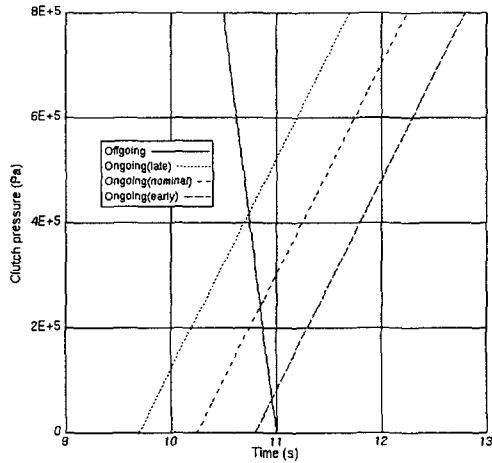


Fig. 7. Clutch pressure characteristics.

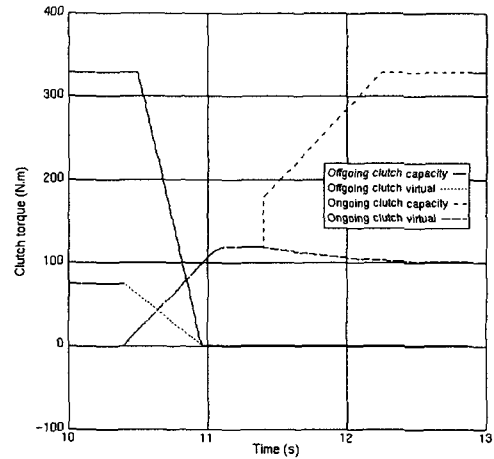


Fig. 8. Clutch torques for nominal case.

그러나 그림 9과 같이 접속되는 클러치가 너무 늦게 동작하면 단절되는 클러치의 연결이 완전히 끊어지기 전에 접속되는 클러치는 토크를 전혀 전달하지 못한다. 또한 그림 10와 같이 너무 빨리 동작하면 두 클러치 사이에 작용하는 토크가 너무 크기 때문에 시스템에 무리한 토크를 발생시킨다. 극단적인 경우는 엔진이 정지하거나 부품의 파손을 야기할 수 있다.

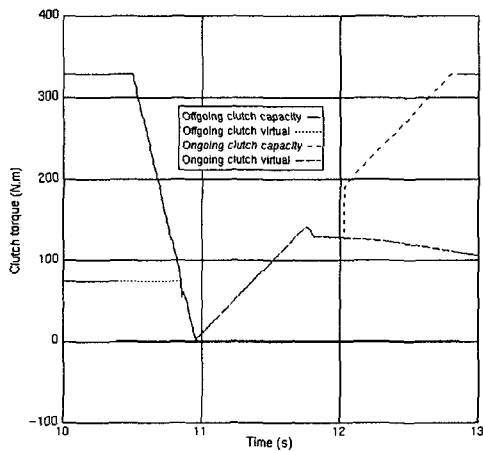


Fig. 9. Clutch torques for late case.

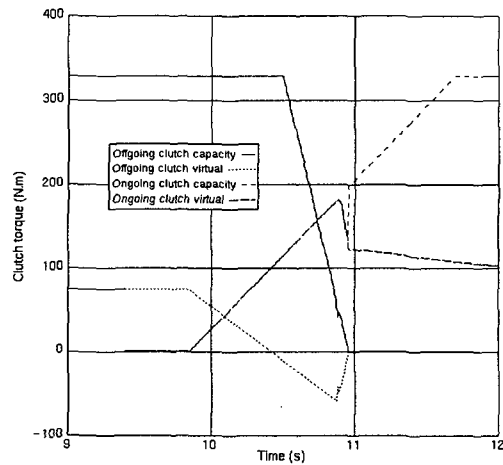


Fig. 10. Clutch torques for early case.

속도 및 승차감 - 각각의 변속 압력 특성에 따른 엔진과 트랙터 속도는 그림 11과 같다. 정상 변속과 빠른 변속의 경우 속도가 부드럽게 증가하고 엔진 회전수도 정격회전수를 유지한다. 늦은 변속의 경우에 있어서 속도가 급격히 감소되었다 상승하며 엔진 회전수도 200rpm이나 감소되었다 상승한다. 그림 12는 운전자의 승차감과 밀접한 관계가 있는 저크와 가속도 값을 나타낸 것이다. 정상 변속의 경우 저크는 5 m/s^3 , 가속도는 0.08G이나 늦은 변속의 경우 45 m/s^3 , 0.4G로 크게 나타난다. 빠른 변속의 경우는 15 m/s^3 , 0.09로 정상 변속과 큰 차이가 없다. 즉, 견인 부하 조건에서의 트랙터 변속에 있어서는 늦은 변속이 승차감에 치명적인 영향을 줄 것으로 판단된다. 이것은 견인부하가 없는 산업용 차량의 경우 빠른 변속에서 가장 큰 저크와 가속도를 나타낸 것(Ciesla,1995)과 대조적이다.

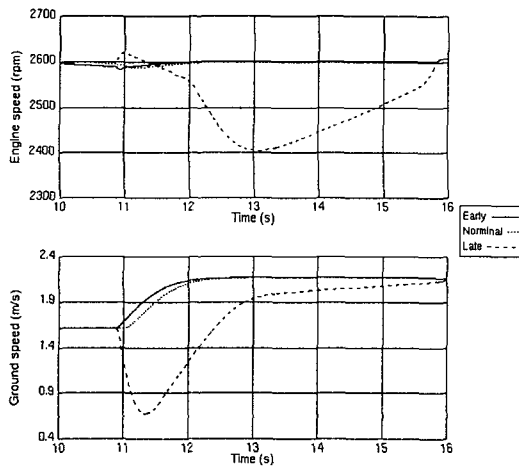


Fig. 12. Speeds for each shift cases.

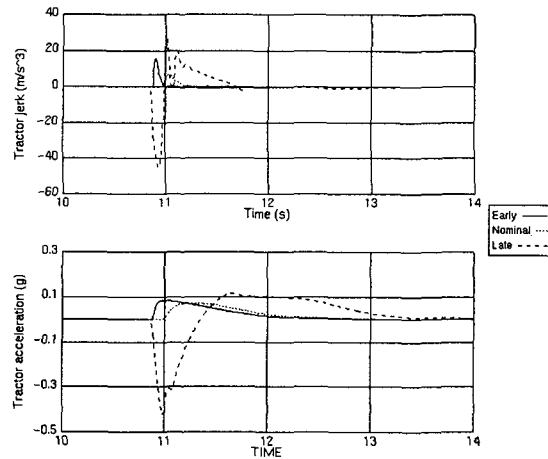


Fig. 11. Jerk and acceleration.

수명 및 클러치팩 동력소모 - 트랙터 내구수명과 관계가 깊은 변속기 입력축과 차축의 토크 변화는 그림 13과 같다. 늦은 변속의 경우 정상 변속에 비해 최대값은 10%의 차이만 있으나, 피로 수명에 직접적인 영향이 있는 진폭의 경우는 입력축은 2배, 차축은 6배 큰 값을 가진다. 빠른 변속의 경우는 정상 변속에 비해 약간의 피크값만 있을 뿐 큰 차이가 없다. 즉, 늦은 변속이 빠른 변속이나 정상 변속에 비해 변속기 수명에도 좋지 않은 영향을 줄 것으로 판단된다.

시뮬레이션의 중요한 목적중의 하나는 적절한 부품 설계를 위해 부품에 순간적으로 가해지는 부하를 해석하는 것이다. 그 중 한 예로서 접속되는 클러치에서 소비되는 단위 면적당 동력을 나타낸 것이 그림 14이다. 최대값을 비교해 보면 정상 변속에 비해 빠른 변속은 1.7배, 느린 변속은 2.3배 높다. 느린 변속의 경우는 엔진 동력이 순간적으로 차단된 후 갑자기 동력이 연결되기 때문에 큰 슬립을 발생하여 동력소모가 큰 것으로 판단된다. 이러한 결과는 클러치 설계와 밀접한 관계가 있으나 시스템의 동적인 시뮬레이션을 통하지 않고서는 정확하게 예측하기는 힘든 것이다.

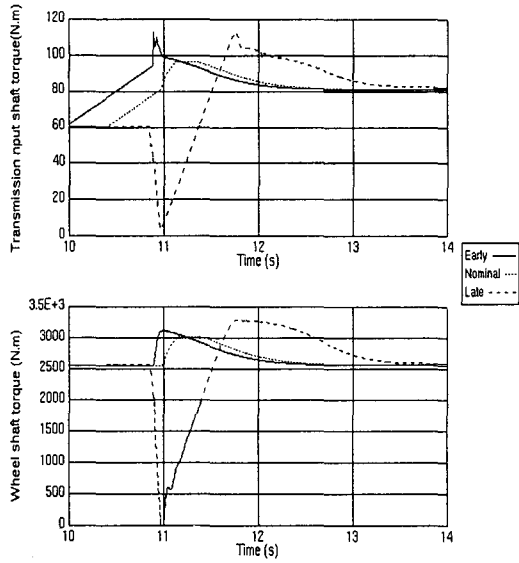


Fig. 13. Shaft torque.

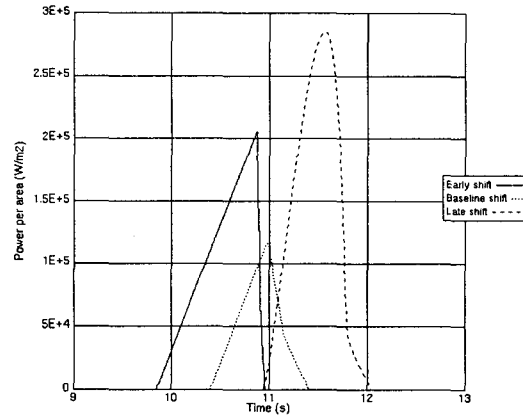


Fig. 14. Clutch power.

4. 요약 및 결론

본 연구에서는 트랙터 파워시프터 변속기의 특성을 효과적으로 해석할 수 있는 모델을 EASY5를 이용하여 개발하고, 시뮬레이션을 수행함으로써 유압제어압력의 변화가 변속기의 성능에 미치는 영향을 미리 예측하고 문제점을 파악하였다.

시뮬레이션 결과 트랙터의 견인 부하 조건에서 변속시 늦은 변속이 빠른 변속이나 정상적인 변속에 비해 트랙터 승차감 및 내구수명에 가장 좋지 않은 영향을 미쳤고 클러치 단위 면적당 동력소모도 큰 것으로 나타났다.

EASY5의 모듈화된 라이브러리를 이용하여 개발된 본 시뮬레이션 모델은 트랙터 파워시프터 변속시 승차감과 내구수명에 대한 유용한 정보를 제공해 주었고, 성능에 실질적인 영향을 미치는 주요 설계 변수를 적절히 조절할 수 있었다.

5. 참고문헌

1. 김대철.1998. 트랙터 구동장치의 부하 스펙트럼 분석. 석사학위 논문. 서울대학교 대학원
2. 김영덕.1994. 궤도차량용 자동변속기의 동적특성해석. 박사학위 논문. 서울대학교 대학원
3. 今井 幹夫. 1989. 트랙터용 트랜스미션의 개발. 기술연구회자료. 일본농업기계학회. 1988년6월30일 : 40-47
4. Anderson S. R. and C. R. Ciesla. 1997. Powertrain library for EASY5. User's Manual. Ricardo, Inc.
5. Ciesla, C. R. and M. J. Jennings. 1995. A modular approach to powertrain modeling and shift quality analysis. SAE Paper No. 950419