

농업용 트랙터의 파워시프트 변속시 유압 특성 해석

Analysis of Hydraulic Control Characteristics of Powershift Transmission for Agricultural Tractors

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

1. 서론

파워시프트는 동력전달의 단속 없이 변속할 수 있는 변속 방식이다. 기어는 동기 물림식으로 되어 있으며, 유압 클러치를 통하여 주행 중에도 동력의 흐름을 제어할 수 있다. 주요 구성 요소는 동력 흐름을 제어할 수 있는 유압 클러치와 동력을 전달하는 기어 조합이며, 유압 클러치는 피스톤, 리턴 스프링, 디스크, 플레이트 등으로 구성되어 있다. 접속시에는 유압 피스톤이 리턴 스프링을 압축하며 전진하여 플레이트와 디스크에 수직력을 가하고 이를 결합시켜 동력을 전달한다. 해제시에는 리턴 스프링에 의하여 피스톤이 후퇴하고 동력이 차단된다. 이때 유압 제어 시스템은 최대 견인 부하에서도 변속을 원활하게 하기 위하여, 클러치 압력을 이용해 변속 중 작동 클러치의 토크를 정교하게 제어한다.

국내의 파워시프트와 관련한 연구는 농업기계 업체들의 기술 제휴 및 자체 시작기 개발 등의 연구로 활발히 추진 중에 있으며, 학계 또한 최근의 몇몇 논문을 중심으로 연구가 추진되고 있는 실정이다. 하지만 아직까지 파워시프트 설계에 대한 설계 지침이나 해석 방법 등이 일반화되어 있지 않으며 특히 유압 제어 시스템의 해석은 주로 시뮬레이션에 의존하고 있는 실정이다.

따라서 본 연구는 파워시프트용 유압 제어 시스템의 설계 지침 마련을 위하여 파워시프트 변속시 유압 제어 시스템의 유압 특성 구명 및 해석에 대한 기초 자료를 제시하기 위하여 수행되었다.

2. 재료 및 방법

시험 트랙터 - 파워시프트 변속기의 유압 특성을 구명하기 위하여 파워시프트 전후진 4단 파워시프트 변속기가 장착된 JD사의 62.5kW 트랙터를 사용하였으며 제원은 표 1과 같다.

그림 1은 시험 트랙터에 장착된 파워시프트 변속기의 단면도이다. 이 변속기는 전후진 4단 구조의 유성 기어식 파워시프트 변속기이며 하나의 링기어에 세 개의 선기어와 세 개의 유성 기어가 설치되어 있는 구조이다. 그림의 오른쪽 부분은 4단 구조의 유성 기어식 파워

* 서울대학교 농업생명과학대학 생물자원공학부 농업기계전공

시프트이고, 왼쪽 부분은 유성 기어식 자동 전후진 변속(파워셔틀)이다.

Table 1 Specifications of test tractor

Items	Specifications
Manufacturer	John Deere
Model	6110
Total weight	37474.2 N (3820 kg_f)
Engine power	62.5 kW (84 HP) at 2300 rpm
Transmission	PowrQuad*, CR&LHR** FWD 16 - REV 16
Maximum speed	30 km/h

*: Four shift range powershift transmission

** : Creeper and Left-hand reverser (electrical reverser)

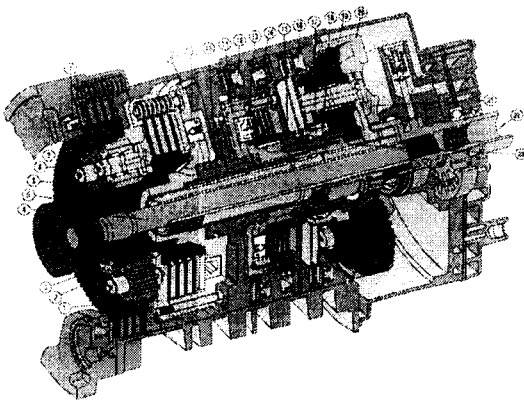


Fig. 1 Planetary type powershift transmission.

Indices	Specifications
1	Reverse carrier
5	Transmission output shaft
7	Reverse brake piston
9	Forward clutch piston
10	Forward clutch drive shaft
12	Third speed brake piston(B3)
13	Fourth clutch piston(C4)
14	Second speed brake piston(B2)
16	First speed brake piston(B1)
17	First speed sun gear
18	Second speed sun gear
20	Planetary input gear
22	Input drive shaft
23	Third speed sun gear

유압 제어 회로 - 시험 트랙터의 파워시프트 변속기의 유압 제어 회로도에는 그림 2와 같다.

유압 제어 회로 중 전후진 변속과 관련된 요소는 모듈레이팅 밸브, 어큐물레이터 피스톤, 섀프 밸브, 그리고 전진 클러치와 후진 브레이크 등이며, 주행 단수 결정과 관련된 요소는 모듈레이팅 밸브, 어큐물레이터 피스톤, 섀프 밸브, 변속 클러치 및 브레이크 등이다.

압력 측정 - 파워시프트 변속기의 변속시 유압 특성을 구명하기 위하여 압력 센서를 이용하여 총 9곳의 변속기 내 압력을 측정하였다.

(1) System 1과 System 2의 압력

- (2) 전후진 모듈레이션 압력
- (3) 전진 클러치 접속 압력
- (4) 후진 브레이크 접속 압력
- (5) B1, B2, B3, C4 압력

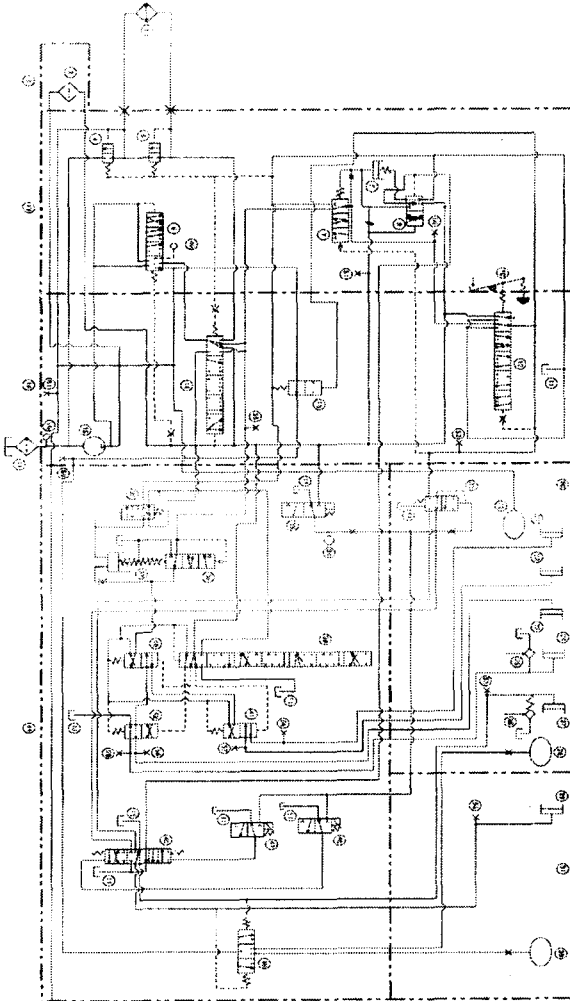


Fig. 2 Hydraulic control circuit of the powershift transmission.

Indices	Specifications
7	F-N-R modulator valve
8	Accumulator piston for F-R mod.
9	Sump valve for F-R mod.
15	pump
21	B1
22	B2
23	B3
24	C4
27	Forward clutch
29	Reverse brake
33	Control valve
35	Enable valve
36	Sump valve for speed mod.
37	Accumulator piston for speed mod.
38	Speed modulator valve
39	Speed control valve
40	B2-B3 shift valve
41	B1-B2 shift valve
42	B3-C4 shift valve
45	FWD-REV control valve
46	Forward valve
47	Reverse valve
51	System 1 port
55	System 2 port

3. 결과 및 고찰

시험 트랙터를 정지시켜 놓은 상태에서 엔진의 회전 속도는 약 2000rpm으로 설정하고 파워시프트의 전후진 변속 시험을 수행하였다. 시험은 전후진 변속을 중심으로 유압 시스템의 제어 압력을 측정하였다. 즉, 중립에서 전진으로 변속할 때의 압력 변화와 전진에서 중립으로 변속할 때의 압력변화 그리고 후진에서 전진으로 변속할 때의 압력 변화를 측정하여

변속시 유압 특성을 구명하고자 하였다.

(1) 중립에서 전진으로 변속

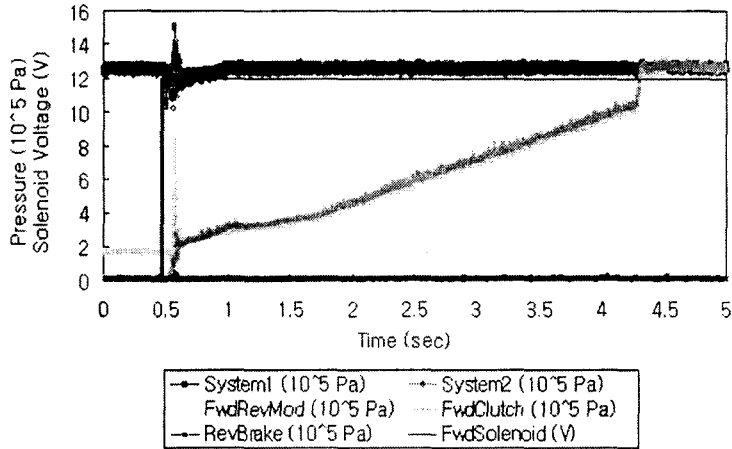


Fig. 3 Hydraulic response of shifting Neutral to Forward.

파워시프트 변속기를 중립에서 전진으로 변속하기 위해 변속 레버를 작동하면 전진 솔레노이드 밸브에 전력이 공급된다. 전력이 공급된 후 약 0.07초 후 시스템 압력이 변화하기 시작하며, 약 0.5초 동안 전진 클러치 기름이 공급되며, 이때 전후진 모듈레이션 밸브의 압력은 약 0.32MPa까지 증가한다. 이후 전진 클러치에 더 이상 기름은 공급되지 않으며, 시스템 동력이 전진 클러치에 원활히 전달되도록 모듈레이션이 일어난다. 이때 총 모듈레이션 시간은 약 3.3초이다. 모듈레이션이 모두 끝나고 나면 전진 클러치에 작용하는 압력은 급격히 증가하여 시스템 압력과 같아지게 되며, 이때부터 최대 시스템 동력이 전진 클러치에 전달되게 된다.

(2) 전진에서 중립

파워시프트 변속기를 전진에서 중립으로 변속하면 전진 솔레노이드 밸브에 공급되던 전력이 차단되어 중립으로 변속이 이루어진다. 전진 솔레노이드 밸브에 공급되던 전력이 차단된 후 약 0.05초 후 시스템 압력이 변화하기 시작한다. 전진 클러치의 압력은 급격히 감소하는데, 이것은 전진에서 중립으로 변속할 때는 모듈레이션 과정이 필요하지 않으므로, 전진 클러치의 피스톤에 들어있던 기름이 급격히 빠져나오기 때문이다. 이렇게 됨으로써 전진 클러치에 공급되던 동력이 빠른 시간 내에 차단되게 된다. 그렇지만 시스템 압력은 여전히 불안정한 상태로 되어 있어 유압 시스템이 안정되는데 약 0.13초의 시간이 소요됨을 알 수 있다.

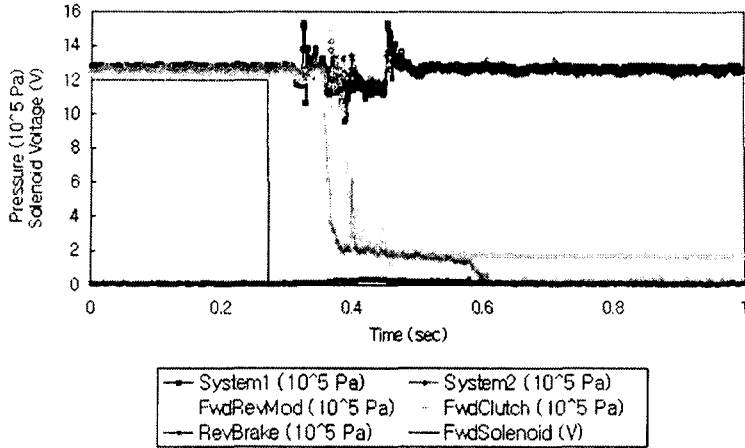


Fig. 4 Hydraulic response of shifting Forward to Neutral.

(3) 후진에서 전진

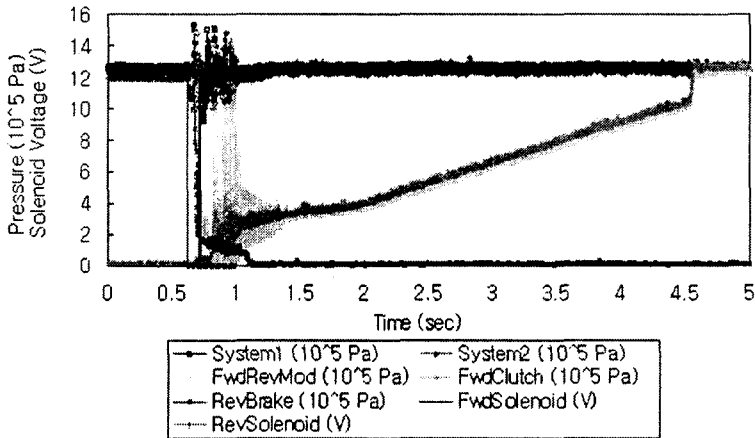


Fig. 5 Hydraulic response of shifting Backward to Forward.

과워시프트 변속기를 후진에서 전진으로 변속하면 후진 솔레노이드 밸브에 공급되던 전력은 차단되며, 전진 솔레노이드 밸브에는 전력이 공급된다. 전후진 솔레노이드 밸브의 전력 공급 양상으로부터 운전자가 후진에서 전진으로 변속 레버를 작동하는 데 소요되는 시간은 약 0.09초임을 알 수 있다.

후진 솔레노이드 밸브에 공급되던 전력이 차단되면 후진 브레이크에 공급되었던 기름이 급격히 빠져나와 후진 브레이크에 공급되는 압력은 0.15MPa까지 감소한 후 0MPa까지 변화하게 된다. 전진 솔레노이드 밸브에 전력이 공급되면 중립에서 전진으로 변속할 때와 같이 전진 클러치에 기름이 공급되는 동안 전후진 모듈레이션 밸브의 압력이 약 0.35MPa까지 증가한다. 이후 전진 클러치에 더 이상 기름은 공급되지 않고 시스템 동력이 전진 클러치에

원활히 전달되도록 모듈레이션이 일어난다. 이때 총 모듈레이션 시간은 약 3.2초이다. 모듈레이션이 모두 끝나고 나면 전진 클러치에 작용하는 압력은 급격히 증가하여 시스템 압력과 같아지게 된다.

고찰 - 전후진 변속시 파워시프트 변속기의 유압 제어 시스템은 변속 과정 중 다음과 같은 일정한 압력 변화 양상을 나타낸다.

- (1) 솔레노이드 밸브를 이용하여 전후진 변속을 수행할 경우 솔레노이드의 작동 반응에 의해 일정 시간(약 0.05~0.07초) 동안 반응 지연이 발생한다.
- (2) 중립이나 후진에서 전진으로 변속할 경우 기름이 공급되는 동안 압력이 약 0.35MPa 정도까지 증가하였으며, 안정적인 변속이 이루어질 수 있도록 하기 위하여 약 3.3초 동안 모듈레이션 과정이 있으며, 그 후 클러치 압력은 시스템 압력과 같아진다.
- (3) 전진이나 후진에서 중립으로 변속할 경우 신속히 동력을 차단하기 위하여 모듈레이션 과정을 거치지 않고 클러치나 브레이크에 공급되었던 기름이 빠져나오게 된다.

4. 요약 및 결론

파워시프트 변속기의 설계 과정에서 중요한 부분을 차지하는 유압 제어 시스템의 유압 특성을 구명하기 위해서는 여러 변속 조건에서의 압력 변화를 측정하여, 안정적인 변속이 이루어지는 조건을 실험적으로 고찰하는 것이 선행 되어야한다고 판단된다.

5. 참고문헌

1. 김대철. 2002. 농업용 트랙터 변속기의 전후진 파워시프트 변속 특성 해석. 박사학위 논문. 서울대학교 대학원
2. 남요상. 2002. 농업용 트랙터의 파워시프트 변속을 위한 유압 제어 시뮬레이션. 박사학위 논문. 서울대학교 대학원
3. Harris, K. J. and J. K. Jensen. 1964. John Deere power shift transmission. SAE Transactions 72: 593-612