

선진사 트랙터 자동변속기 설계 분석

Automatic Transmission Design Analysis of the Tractor from Advanced Company

정 규 흥^{1*}

G. H. Jung

Received: 30 Oct. 2013, Accepted: 27 Nov. 2013

Key Words : Automatic Transmission(자동변속기), Gear Train(기어 열), Shift Control(변속제어), TCU(변속제어기), Proportional Solenoid Valve(비례제어 솔레노이드밸브)

Abstract: A tractor is a farm vehicle that is designed to provide a high tractive effort at low speed. It is used for versatile agricultural tasks such as hauling a trailer, tillage, mowing and construction work. As the intensity of work increases, tractors equipped with automatic transmission become popular due to the work convenience. Though manual and power shuttle transmissions are produced by domestic corporations, development for full-automatic power shift transmissions has never been challenged, and so related technology level is quite low. This paper gives a survey of the automatic transmissions from advanced foreign company, which includes layout of gear train, the way hydraulics controls clutches and brakes, electronic control system. The results are expected to be utilized as a basis in the development of original power train design for tractor.

1. 서 론

트랙터는 로터리나 쟁기 등을 이용한 논농사 작업이나 모어(mower), 로더(loader), 제설기 등의 부속작업기를 장착하여 다양한 작업에 이용되는 농업용 기계이며, 소형 건설기계로도 활용되고 있다.

국내에 보급된 트랙터는 대부분 100마력 이하로 수동변속기 또는 전후진 변속만을 습식 다관 클러치로 제어하는 파워셔틀(power shuttle) 변속기가 탑재되고 국산화가 완료되었지만 자동변속의 파워시프트(power shift)기능을 갖는 변속기가 장착되는 100마력 이상의 트랙터는 전량 수입에 의존하고 있는 실정이다. 100마력 이상의 대형 트랙터 국내시장은 크지 않지만 유럽 및 북미시장으로의 수출을 확대하기

위해 기술개발이 요구되고 있다. 특히, 경작지 대형화에 따른 작업시간 증가와 축산업 작업에서는 빈번한 변속으로 인하여 피로도가 높아짐에 따라 정숙성, 편의성과 더불어 자동변속 기능에 대한 수요가 급격히 증가하고 있다.

이에 따라 국내 수요자 요구에 부응하고 유럽과 북미를 비롯한 해외시장으로의 수출을 통해서 무역수지를 개선하기 위하여 자동변속기가 탑재된 100마력급 트랙터의 국산화 개발이 시도되고 있다.

100마력 이상의 트랙터는 24단의 변속단 수를 갖는 변속기가 일반적으로 적용되고 있으며, 주 변속 8단×부 변속 3단 또는 주 변속 4단×부 변속 6단으로 구성된다. 트랙터용 자동변속기는 주 변속만이 전자제어를 이용하여 유압시스템으로 구동되는 습식다관 클러치를 결합(engage)/해방(disengage)함으로써 자동변속기능을 구현하고 부 변속은 작업종류에 따라 수동으로 설정하도록 설계된다. 주 변속 기어 열은 단순유성기어가 결합된 복합유성기어 방식이나 상시 맞물려 회전하는 기어를 클러치를 이용하여 회전축에 결합시킴으로써 동력을 전달하는 카운터 샤프트(counter shaft)방식으로 설계된다.¹⁻²⁾ 트랙터 자동변

* Corresponding author: ghjung@daejin.ac.kr

1 Department of Computer Aided Mechanical Design Engineering, Daejin University, Gyeonggi 487-711, Korea
Copyright © 2013, KSFC

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

속기 개발은 동력전달경로를 결정하는 기어 열과 더불어 유압제어시스템과 변속제어기가 핵심적인 설계 분야이나 개발 경험이 부족하여 관련된 기술수준이 매우 낮은 실정이다.

본 연구에서는 100마력급 트랙터용 자동변속기의 국산화 개발에 선진사 제품설계를 벤치마킹하기 위해 일본 Kuboda사와 미국 John Deere사에게 양산되고 있는 자동변속기를 대상으로 동력전달장치의 구성 및 설계방식, 각 변속단에서 변속 기어 열의 속도분석, 유압제어시스템의 변속제어방식, 변속제어기 입출력 신호분석을 통해 기능을 분석하였다.

2. Kuboda M126GX

2.1 기어 열

Fig. 1은 125마력 엔진을 갖는 트랙터에 탑재되는 자동변속 전후진 8단의 Kuboda사 M126GX의 주 변속 기어 열을 나타낸다.³⁾ 자동변속 기어 열의 출력은 싱크로를 이용하여 수동으로 변속하는 3단 부 변속 기어 열로 연결되어 전체 변속단수는 24단이 된다. 변속기 출력축은 기본적으로 후륜구동이며 KD 클러치를 결합하는 경우에는 4륜구동, KQ 클러치 결합 시에는 전륜 회전속도가 후륜보다 2배 높은 배속구동이 가능하도록 설계되어 있다.

자동변속 기어 열에 설계된 8개 클러치는 기능에 따라 출력축의 회전방향을 결정하는 방향클러치(KF, KR)와 변속 비를 조절하는 속도클러치 1(K1-4)과 속도클러치 2(KL, KH)로 분류되며, 변속비가 결정되기 위해서는 방향클러치, 속도클러치 1, 속도클러치 2에서 각각 하나씩 3개가 결합되어야 한다. Table 1은 전진 각 변속단에서 결합되는 클러치의 작동상태를 나타내며, Fig. 2는 전진 1속 4륜구동(KF, K1, KL, KD 클러치 결합) 시의 속도선도이다.⁴⁾

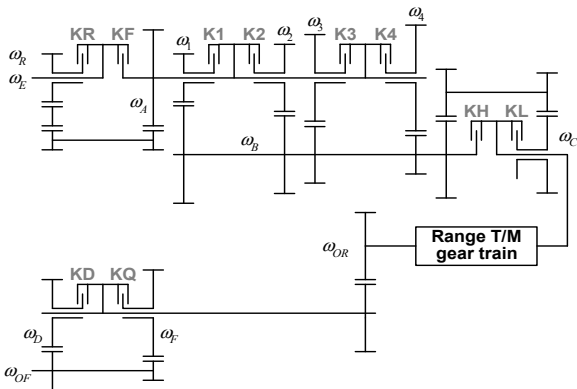


Fig. 1 Gear train schematics of Kuboda M126GX

Table 1 Clutch engagement

Gear	Direction		Speed					
	KF	KR	K1	K2	K3	K4	KH	KL
F1	●		●					●
F2	●			●				●
F3	●				●			●
F4	●					●		●
F5	●		●				●	
F6	●			●			●	
F7	●				●		●	
F8	●					●	●	

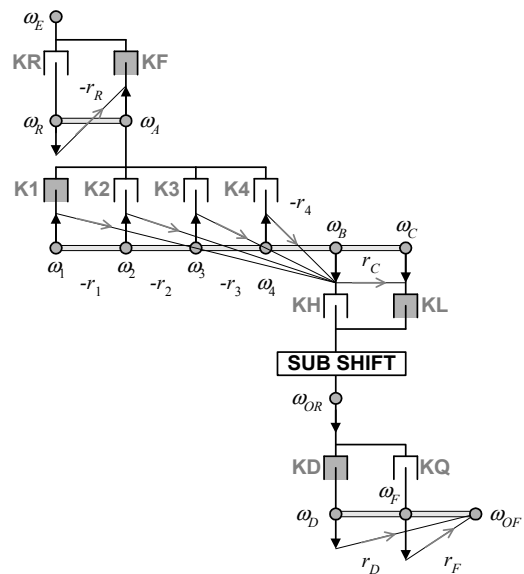


Fig. 2 Velocity diagram of M126GX for F1 4WD

M126GX 자동변속 기어 열은 상시 맞물려 회전하는 기어 회전체를 클러치를 작동시켜 결합함으로써 동력전달경로를 변화시키는 카운터 샤프트방식 변속기이며, 모든 변속은 하나의 클러치를 해방하면서 다른 클러치를 결합하는 클러치 대 클러치 변속방식이다.

2.2 유압제어시스템

주 변속 8단 기어 열의 변속은 전기적 신호로 압력제어가 가능한 비례제어 솔레노이드밸브 (proportional solenoid valve, PSV) 3개와 클러치 작동과 해제만이 가능한 ON/OFF 솔레노이드밸브 6개를 이용하여 8개 클러치를 결합 제어함으로써 이루어진다. 변속기 유압시스템은 조향장치 유압시스템과 연결되어 유압동력을 공유하므로 변속기만을 위한 유압펌프는 없다.

Table 2는 각 변속단에서 작동되는 PSV와 ON/OFF 솔레노이드 조합을 나타낸다, PM PSV 제어압은 SF와 SR ON/OFF 솔레노이드 작동상태에 따라 KF와 KR 클러치에 선택적으로 작용하고 PH, PL PSV와 S1-4 ON/OFF 솔레노이드는 독립적으로 클러치결합을 제어한다. 클러치를 결합 제어하는 기능에 따라 솔레노이드 밸브를 분류하면 다음과 같다.

- PM, SF, SR: SF, SR 작동상태에 따라 PM PSV로 KF와 KR 클러치 압력제어
- S1, S2, S3, S4: K1, K2, K3, K4 클러치 결합 및 해방
- PH, PL: KH와 KL 클러치 압력제어

M126GX에 적용되는 PSV는 전류에 비례하여 발생하는 제어압이 클러치에 직접 전달되는 직접제어형인 반면에 ON/OFF 솔레노이드는 제어압이 방향제어 스폴밸브를 구동하는 파일럿 압력으로 작용하는 1차 밸브의 기능을 담당한다.

Fig. 3은 KF와 KR 방향 클러치를 제어하는 유압 회로를 나타낸다. SF와 SR ON/OFF 솔레노이드는 wire harness 회로에서 셔틀레버 위치에 따라 선택적으로 작동되어 유압회로를 형성하고 TCU는 클러치 페달 작동상태에 따라 PM PSV 전류를 제어하여 마스터 압력을 조절함으로써 변속이 진행된다. 클러치 페달을 밟으면 기구적으로 안전밸브가 작동하여 SF와 SR ON/OFF 솔레노이드밸브의 파일럿 압력이 강제적으로 배출되므로 방향제어 스폴밸브가 전환되지 않아 변속기능이 정지되나 이는 기계적인 안전장치에 해당되며 방향 클러치의 결합은 PSV 제어압에 의해 변속충격을 감소시키는 구조로 설계되어 있다.

자동변속은 운전자가 조작하는 셔틀레버와 변속레버에 부착된 상향, 하향변속 및 시프트 록(shift lock) 버튼의 상태를 TCU가 인식하여 솔레노이드 밸브를 작동시키고 PSV 압력을 제어함으로써 변속이 이루어지는 shift-by-wire 방식이며 설계된 유압제어시스템을 고려하여 변속제어 과정을 분석하면 다음과 같다.

(1) 중립-전후진 변속제어

셔틀레버 작동에 의해 변속개시가 결정되고 TCU는 상향 및 하향변속 버튼으로 설정된 변속단에 따라 ON/OFF 솔레노이드 S1-4를 먼저 작동시킨 후 PM과 PL(또는, PH) PSV 전류를 증가시킴으로써 변속이 진행된다. SF(또는 SR)은 셔틀레버 위치에 따라

wire harness 회로에서 작동되도록 설계되어 있다.

(2) 전후진 셔틀변속제어

셔틀레버 작동에 의해 변속개시가 결정되고 TCU는 PM PSV 전류를 해제하고 wire harness 회로에 의해 ON/OFF 솔레노이드 SF와 SR의 전환이 완료된 후 다시 PM PSV 전류를 증가시킴으로써 변속이 진행된다. PM PSV 제어압을 ON/OFF 솔레노이드를 이용하여 방향 클러치에 배분하는 방식의 유압회로 구조 상 전후진 셔틀변속은 항상 중립을 거쳐야 하므로 PSV 2개로 독립 제어하는 방식에 비하여 변속 응답시간이 길어지는 단점이 있다.

(3) 기어 변속제어

변속레버의 변속버튼 조작(수동변속), 또는 변속선도(자동변속)에 의해 변속개시가 결정되고 TCU는 PL(또는, PH) PSV 전류를 해제하고 차기 변속단에 따라 ON/OFF 솔레노이드 S1-4를 전환한 후 다시 PL(또는, PH) PSV 전류를 증가시키는 방식으로 변속을 제어한다. Fig. 4는 기어 변속 시 PSV와 ON/OFF 솔레노이드 작동에 따른 클러치 압력의 변화과정을 나타낸다.

Table 2 PSV and ON/OFF solenoid operation

Gear	PSV			ON/OFF Solenoid					
	PM	PH	PL	SF	SR	S1	S2	S3	S4
F1	◎		◎	◎		◎			
F2	◎		◎	◎			◎		
F3	◎		◎	◎				◎	
F4	◎		◎	◎					◎
F5	◎	◎		◎		◎			
F6	◎	◎		◎			◎		
F7	◎	◎		◎				◎	
F8	◎	◎		◎					◎

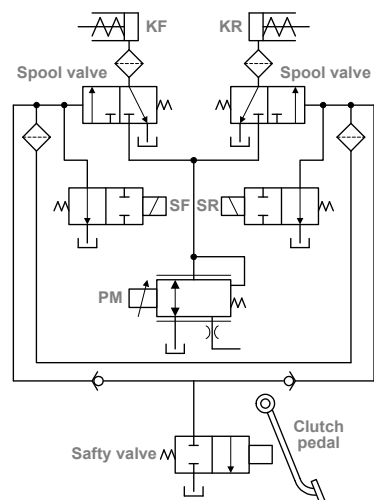


Fig. 3 KF, KR clutch pressure control hydraulics

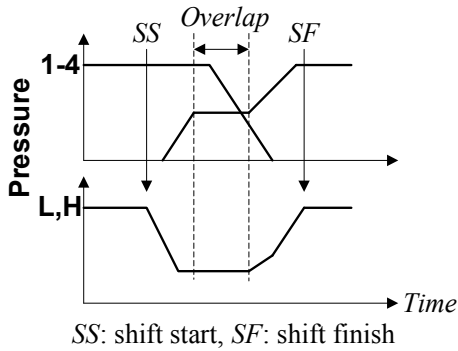


Fig. 4 Clutch pressure during gear shift

2.3 변속제어기(TCU)

M126GX 변속제어기는 운전자 조작신호와 제반 센서신호로부터 트랙터 주행상태를 파악하여 자동으로 주 변속 기어 열의 변속단을 결정하고 PSV와 ON/OFF 솔레노이드를 작동/해제시켜 변속충격이 크게 발생되지 않도록 변속제어를 수행하는 기능을 갖는다. 변속단은 변속레버에 있는 상향 및 하향변속 버튼을 조작하여 단계적으로 설정하고 부 변속 기어 열 변속은 클러치 페달을 밟거나 변속레버의 시프트 록 버튼을 누른 후 변속레버를 전후로 조작한 후 클러치 페달이나 시프트 록 버튼을 놓음으로써 이루어진다. 클러치 페달에 의한 변속 시에는 작동량에 따라 PSV 압력이 변화되므로 운전자에 의한 수동방식 변속이고 시프트 록 버튼에 의한 변속 시에는 버튼을 떼는 시점에서 TCU가 클러치 압력을 제어하는 자동방식 변속에 해당된다.

Fig. 5(a)는 주 변속 전후진을 결정하는 셔틀레버이고 Fig. 5(b)는 부 변속 싱크로를 작동시키는 변속레버와 단계적으로 변속단을 설정하는 변속버튼을 나타낸다. Table 3은 TCU 입출력 신호 요약이며 주요 TCU 기능은 다음과 같다.⁵⁾

(1) 자동변속기능

변속버튼으로 설정된 최고단 이내로 주행 및 작업 상태에 따라 자동으로 변속이 이루어지며 부 변속 조작 시에는 변속비가 이전 변속단에 근접하도록 주 변속 변속단이 변화된다.

(2) 변속감도조절

변속감도조절 다이얼 설정을 통하여 자동변속모드에서 변속이 개시되는 시점을 앞당기거나 지연시키는 기능이다.

(3) 배속 턴(bi-speed turn)

배속 턴 기능을 활성화시키면 조향핸들을 조작하여 전류 회전각이 35° 이상 되는 경우에 QT 솔레노

이드가 작동하여 전륜속도를 후륜보다 2배 빠르게 함으로써 회전반경을 감소시킨다.



(a) shuttle lever



(b) shift lever and shift buttons

Fig. 5 Shift control lever for M126GX

Table 3 M126GX TCU interface

Speed input	Speed sensor (Engine, Shuttle, Output)
Analog input	Shift lever sensor
	Console throttle sensor
	Foot throttle sensor
	Clutch pedal sensor
	Rev-limiter control dial
Digital input	Oil temperature sensor
	Shuttle S/W(F, R)
	Shift S/W(Up, Down, Lock)
	Auto mode S/W
	Pressure S/W(M, L, H, 1-4)
	Front wheel angle S/W
Com.	DT, QT S/W
Solenoid output	CANL, CANH(500K)
	PSV(PM, PL, PH) ON/OFF solenoid (S1, S2, S3, S4)

Note) SF, SR ON/OFF solenoids are selectively driven in wire harness circuit by shuttle lever.

3. John Deere 6140R

3.1 기어 열 및 유압제어시스템

Fig. 6은 John Deere사 트랙터에 적용되는 동력전달장치 구성을 나타낸다. 부 변속(range transmission)과 액슬(axle)은 동일하고 자동변속기는 정유압 변속장치 방식으로 설계된 AutoQuad 모델과 기어 열 방식의 PowerQuad 모델이 공용된다.⁶⁾

Fig. 7은 140 정격마력 엔진에 탑재되는 6140R PowerQuad 모듈의 주 변속 기어 열이다. 2개의 단순유성기어로 구성된 복합유성기어로 6개 작동요소(CF, BR, B1, B2, B3, C4)를 결합/해제함으로써 전후진 4속이 구현되고 싱크로를 이용하여 변속되는 6단 부 변속 기어 열이 연결되어 전체 변속단은 24단이다. 기어 열을 구성하는 회전요소는 모두 7개이고 유성기어의 속도관계식은 4개이므로 변속비가 결정되기 위해서는 2개 작동요소가 결합되어야 한다. 싱글 피니언 유성기어에 연결된 작동요소(B1, B2, B3, C4)는 변속비를 변화시키는 속도클러치에 해당되고 더블 피니언과 연결된 작동요소(CF, BR)는 회전방향을 결정하는 방향클러치이다. Fig. 8은 4단 주 변속 기어 열에 대한 속도선도를 나타내고 이를 이용하면 변속비와 회전방향 변화를 보다 쉽게 파악할 수 있다.

Table 4는 각 변속단에서 작동되는 작동요소와 솔레노이드를 나타낸다. PowerQuad 자동변속기 유압제어시스템은 변속기 내에 크레슨트 씰(crescent-shaped seal)을 갖는 내접기어펌프가 유압동력을 발생시키며 다음과 같이 1개의 직접제어형 PSV와 파일릿 압력을 발생시키는 4개의 ON/OFF 솔레노이드(SF, SR, S1, S2)를 이용하여 4단 변속이 구현된다.

- Enable proportional solenoid, SF, SR: SF, SR 작동상태에 따라 CF와 BR 압력제어
- S1, S2: 작동상태 조합에 따라 유압회로에 의해 기계식으로 B1, B2, B3, C4 작동/해제 압력제어

중립-전후진 변속과 전후진 셔틀변속 시 작동되는 유압회로 구조는 Kubota M126GX와 유사하나 클러치 페달작동이 기구적으로 유압회로에 미치는 영향이 없고 전적으로 TCU에서 클러치 작동량과 셔틀레버 위치를 파악하여 클러치 압력을 제어하는 shift-by-wire 방식이다.

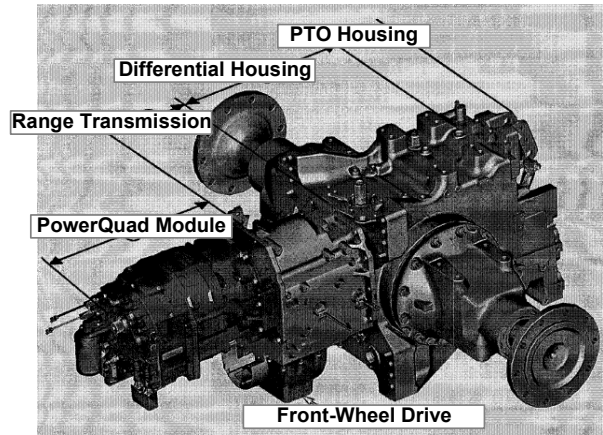


Fig. 6 John Deere transmission layout

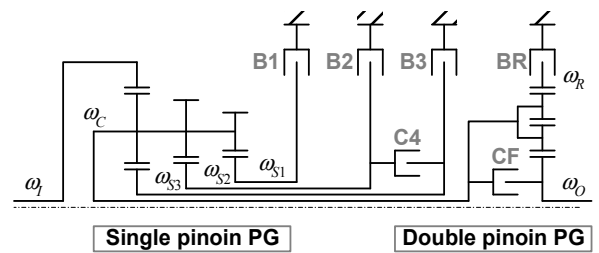


Fig. 7 Gear train schematics of John Deere 6140R

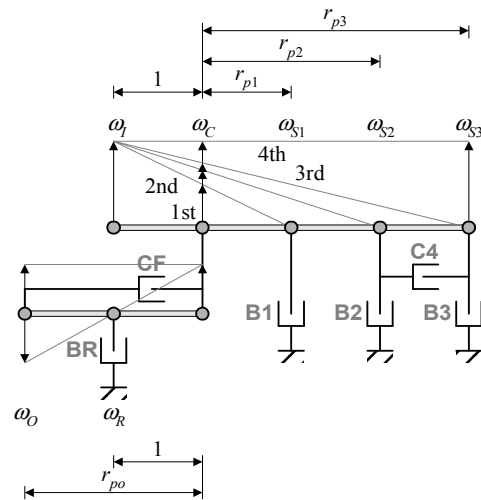


Fig. 8 Velocity diagram of 6140R

Table 4 Clutch and solenoid operation

Gear	Clutch						Solenoid			
	B1	B2	B3	C4	CF	BR	SF	SR	S1	S2
F1	●				●		○		○	○
F2		●			●		○			○
F3			●		●		○			
F4				●	●		○		○	
R1	●					●		○	○	○
R2		●				●		○		○
R3			●			●		○		
R4				●		●		○	○	

중립-전후진 변속과 전후진 서틀변속 시에는 SF (또는 SR) ON/OFF 솔레노이드를 먼저 작동시킨 후 PSV를 이용하여 CF와 BR 압력을 제어하므로 Kubota M126GX와 유사하다. 다만, Kubota M126GX는 모든 변속단에서 3개 클러치가 결합되므로 ON/OFF 솔레노이드와 2개 PSV를 제어하는 반면에 PowerQuad 모듈은 2개 작동요소가 결합되므로 ON/OFF 솔레노이드와 PSV 1개만을 제어하는 점이 다르다. 이에 비하여 1-4단 기어변속은 변속이 개시될 때 TCU에서 S1, S2 ON/OFF 솔레노이드 작동상태를 변화시킴으로써 이루어지며, 솔레노이드 파일럿 압력에 의해 방향제어 스톱밸브가 전환되면 밸브블록에 설계된 어큐뮬레이터, gear-to-gear modulation valve, return valve로 구성되는 압력제어모듈에 의하여 해제 및 작동 클러치 압력이 제어된다. 따라서 기어변속 시 TCU는 ON/OFF 솔레노이드 작동상태만을 변화시키고 변속제어는 유압회로에 의한 기계식 압력제어로 진행된다. PowerQuad 모듈 유압시스템의 주요 특징은 다음과 같다.

- PowerQuad 모듈에 있는 변속기 오일을 오일 탱크가 있는 차동기어 축으로 밀어내기 위해 최대 0.138bar의 압력을 발생시키는 소형 공압펌프가 설계되어 있다.
- 주행방향을 결정하는 전진 클러치(CF)와 후진 브레이크(BR)의 윤활과 냉각은 슬립이 발생하는 과도변속상태에서만 오일이 공급되도록 하여 불필요한 유량손실이 최소화되도록 유압회로가 설계되어 있다.

3.2 변속제어기(TCU)

PowerQuad 모듈의 변속을 제어하는 변속제어 기능은 변속기와 관련된 모든 센서와 솔레노이드 입출력이 하나의 TCU에 연결하는 일반적인 설계와 달리 운전자 조작신호와 변속기 입출력신호를 다수의 ECU(electronic control unit)에서 인터페이스한 후 CAN 통신으로 필요한 정보를 교환하는 방식으로 설계되어 있다. 이는 AutoQuad와 PowerQuad로 모듈화된 자동변속기를 효율적으로 통합 설계하기 위함으로 분석된다.

Fig. 9는 PowerQuad 모듈이 장착된 변속제어기의 블록선도를 나타내며 PTQ, FCC, TIQ, OIC는 각 ECU에 구현된 펌웨어(firmware) 모듈이다. 변속과 관련된 운전자 조작신호는 instrument unit에서 전후진 변속을 결정하는 left hand reverser를, cab

controller에서 부 변속 레버의 버튼신호와 클러치 페달, 가속 페달 등의 제반 아날로그 조작신호를 감지하여 CAN으로 송신한다. Rear chassis controller는 변속기에 장착된 센서신호와 500K baudrate의 CAN을 통해 instrument unit과 cab controller로부터 수신된 운전자 조작신호를 바탕으로 PSV 및 ON/OFF 솔레노이드를 제어하여 변속기능을 수행한다.

Fig. 10은 운전자가 조작하는 left hand reverser와 부 변속 레버를 나타낸다. 부 변속 레버의 상향 및 하향변속 버튼으로 주 변속 기어 열의 변속단을 설정하고 부 변속 레버를 조작하여 부 변속 기어 열의 싱크로를 작동시킨 후 left hand reverser를 전진(또는, 후진)으로 조작하면 TCU는 ON/OFF 솔레노이드와 PSV를 제어하여 클러치를 결합함으로써 주행이 시작된다. 주행 중 주 변속 기어 열에 대한 변속은 변속버튼(수동변속)이나 변속선도(자동변속)에 의해 목표 변속단이 결정되어 TCU에 의해 변속이 진행된다. 부 변속 기어 열에 대한 변속은 클러치 페달이나 부 변속 레버의 declutch 버튼을 작동시키고 부 변속 레버를 조작하여 수동변속을 한 후 클러치 페달이나 declutch 버튼을 놓으면 TCU가 PSV를 이용하여 방향클러치 압력을 제어하면서 결합하여 변속이 완료된다. 부 변속 기어 열 변속 시 차속에 근접한 변속단으로 주 변속단이 변화되는 속도매칭(speed matching) 기능이 TCU에 설계되어 있다. 부 변속 레버 위치를 검출하는 별도의 센서는 없으므로 변속 제어 기능을 수행하는 rear chassis controller에서는 부 변속 기어 열 입출력 속도비로부터 부 변속 단을 파악하는 것으로 추정된다.

John Deere 6140R 동력전달장치에는 회전반경 감소를 위하여 전륜회전속도를 빠르게 구동하는 배속 기능을 구현되어 있지 않다. Table 5는 PowerQuad 모듈의 변속제어와 관련된 ECU에 연결된 주요 센서와 솔레노이드 신호사양을 정리한 결과이다.

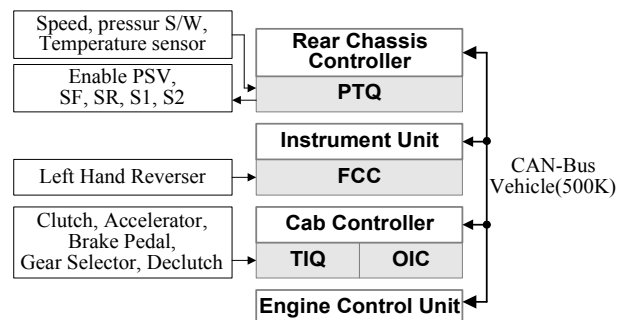
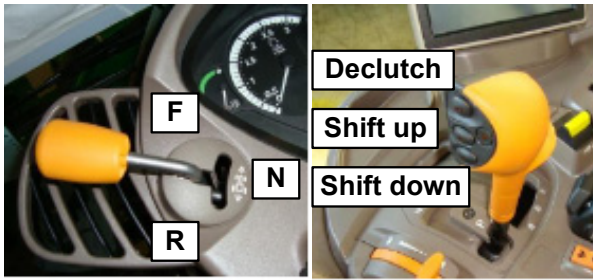


Fig. 9 Block diagram of PowerQuad control



(a) left hand reverser (b) range shift lever
 Fig. 10 Shift lever for 6140R transmission

Table 5 6140R TCU interface

Instrument Unit	
Digital input	Left hand reverser
Cab Controller	
Analog input	Clutch pedal sensor
	Brake pedal sensor
	Accelerator pedal sensor
	Hand throttle sensor
Digital input	Gear selector, auto, declutch S/W
	Gear selector shift up/down S/W
	Differential, park lock S/W
Rear chassis controller	
Speed input	Speed sensor (Wheel, Transmission output)
Analog input	Oil temperature sensor
	Enable pressure sensor
Digital input	Oil filter pressure S/W
	Transmission oil pressure S/W
Solenoid output	Enable PSV
	ON/OFF solenoid (SF, SR, S1, S2)

4. 결 론

본 연구에서는 100마력급 이상 트랙터에 적용되는 Kubota와 John Deere사의 24단 자동변속기를 대상으로 정비 매뉴얼에서 제공되는 자료를 토대로 기어열, 유압제어시스템, 변속제어기의 설계를 분석하였다. 향후에는 TCU 성능분석기를 개발하고 이를 활용하여 실차시험을 통해서 보다 상세한 작동 및 제어성능을 분석한 후 독자모델 자동변속기 개발에 반영할 예정이다.

참고 문헌

- 1) G. H. Jung, "Gear Train Design of 8-Speed Automatic Transmission for tractor", Journal of the KSFC , vol. 10, No. 2, pp. 30-36, 2013.
- 2) G. H. Jung, "Automatic Transmission Design Analysis of the Tractor From Advanced Company", KSFC Spring Conference, pp. 23-28, 2013.
- 3) Kubota M125X service manual, 2005.
- 4) Howard L. Benford and Leising, M, "The Lever Analogy: A New Tool in Transmission Analysis", SAE 810102, 1981.
- 5) Kubota M126GX catalog, 2012.
- 6) John Deere, "6105R to 6210R Technical Manual", 2012.