

# 트랙터용 무단변속기 개발 ( I )<sup>+</sup>

- 무단변속기 메커니즘 -

## Development of a Continuously Variable Transmission (CVT) for Agricultural Tractor

- CVT Mechanism -

김 의 한*	김 효 중*	류 관 희**
정희원	정희원	정희원
E.H. Kim	H.J. Kim	K.H. Rhyu

### 1. 서 론

국내 농업기계화의 가장 대표적인 예로 농업용 트랙터의 보편화, 대형화 및 자동화를 들 수 있는데 국내 트랙터 업계의 기술 수준은 구미 업체 수준에는 못 미치나 지난 10년간 많은 발전을 이루어온 것이 사실이며, 앞으로도 농업용 트랙터에 대한 많은 연구들이 수행될 것으로 판단된다. 특히 트랙터의 기능 중 가장 핵심이 되는 변속기 기술은 지속적으로 개선, 발전될 전망이다.

현재 전 세계적으로 보급되고 있는 트랙터는 대부분 수동 변속기를 채택하고 있으며, 소형 및 대형 트랙터에서 HST(hydrostatic transmission)에 의한 무단 변속기를 일부 채용하고 있으나 고가이며 동력 전달 효율이 매우 낮아 보급은 미미한 실정이다.

최근에는 대형트랙터를 중심으로 작업 효율을 높이고, 운전 조작을 쉽게 하려는 목적으로 유압 클러치를 이용하는 파워-쉬프트 트랜스미션 트랙터도 공급되고 있는데, 이 경우에도 변속단수가 제한되어 있고 또한 고가여서, 공급량은 수동 변속 트랙터에 비하여 비교적 적은 편이다. 그러나 작업의 편리성과 이에 따른 작업효율의 향상 등의 이유로 파워-쉬프트 트랜스미션을 장착한 트랙터의 공급대수가 증가 추세에 있는 것이 사실이다.

또한 트랙터 수요 패턴이 작업 편의성, 작업 효율 향상, 포장 적응 능력을 향상시키는 방향으로 바뀌게 될 것에 대비하여, 기존 HST, 파워-쉬프트 트랜스미션의 단점을 극복하고 포장 적응성이 우수한 트랙터용 무단 변속기를 개발하여야 한다는 필요성이 대두되고 있다.

따라서 본 연구의 목적은 트랙터용 무단변속기 개발의 1 단계로서 트랙터용 무단변속기의 메커니즘을 설계, 제작하고 성능을 검증하는데 있다.

### 2. 재료 및 방법

#### 가. 메커니즘의 설계 기준

본 연구에서 개발한 트랙터용 무단변속기는 아직까지 세계적으로 실용화된 바가 없기 때문에, 작업 시 발생할 수 있는 여러 문제점을 시험용 모델을 통하여 파악하고, 이를 해결하여 향후 제품 설계 시 필요한 설계 기준을 정립하기 위한 시작품이다.

---

+ 본 연구는 농림부 첨단기술개발과제 연구비 지원에 의해 수행되었음.

\* LG전선(주) 산업기계사업본부, 기계연구소

\*\* 서울대학교 농업생명과학대학 생물자원공학부

국내에서 가장 많이 공급되고 있는 트랙터의 엔진 출력 범위는 30~45 마력인데, 본 연구에서는 개발에 소요되는 비용을 고려하여 35 마력 급 트랙터의 무단변속기를 개발하는 것으로 하였다.

주행속도에 있어서는, 일반적으로 트랙터의 최고 주행 속도가 20 ~ 30 km/h 범위에 있고, 도로 주행 시 무단변속기의 이점을 살리기 위하여 평지 주행 시 엔진 회전속도 1500 rpm 에서 30 km/hr 가 되는 것을 목표로 하였으나, 고속 주행 시 시작품 변속기 내부의 실제 효율이 낮아지고, 주행 저항도 크게 증가하게 되므로, 더 높은 엔진 회전 속도에서 최고 속도 30 km/hr를 얻을 수 있도록 하였다. 후진 속도는 전진 속도와 같은 범위를 얻을 수 있으나, 위험성을 감안하여 12km/h로 제한 하였다.

트랙터의 총 중량은 1,600 kg을 기준으로 하였으며, 이 값은 동력 전달 장치의 요소 부품 강도 설계를 하기 위한 중요 인자로 사용되었다.

무단변속기를 장착한 트랙터의 중요한 이점은 변속을 자동화 할 수 있는 것으로, 본 연구에서 개발하는 시작품에서는 최고 속도 설정 레버 만을 두어, 속도 범위를 0 ~ 30 km/h 내에서 선택하게 함으로써 작업자가 원하는 최대 속도 이내에서 작업이 가능하도록 하였다.

전, 후진 변속은 자동변속 자동차의 변속 레버를 적용하여, 전, 후진 변속을 수행할 수 있도록 하였다. 표 1 에 트랙터용 무단변속기 시작품에 대한 설계 기준을 나타내었다.

Table 1. Specifications of CVT Prototype

	Content	Specifications
Engine	No. of Cylinder	4
	Displacement	2311 cc
	Horsepower	35PS / 2500 rpm
Transmission	Speed Range	-12 km/h ~ 30 km/h
	Shift Method	CVT and Mode Change
	Shuttle type	By manual lever
Tractor Body	Wheel base	1,700 mm
	Front	1,100 mm
	Rear	1,100 mm
	Vehicle Weight	1,600 kg

#### 나. CVT 메커니즘의 System Layout

일반적으로 무단변속기는 그림 1에 나타낸 바와 같이 입력축, 출력축, 통합부, 무단변속부로 구성되는데, 본 연구에서는 유성 치차 방식을 이용하여 통합부를 구성하였고, 토로이달(Toroidal) 메커니즘을 이용하여 무단변속부를 구성하였다.

본 연구에서 토로이달 방식을 채택한 이유는 다음과 같다.

1. HST는 그 자체로 전속도 무단 변속이 가능하지만 상대적으로 효율이 매우 낮다.
2. 습식으로 사용할 수 있는 무단변속기는 스틸-벨트 가변 폴리 방식과 토로이달 방식이 있으며 스틸-벨트 방식은 토크 용량이 제한되나 토로이달 방식은 더욱 큰 토크를 전달할 수 있다.
3. 토로이달 방식에는 Half-토로이달 방식과 Full-토로이달 방식이 있으나 Full-토로이달 방식이 구조적으로 제작이 쉽고 제어가 간편하다는 이점이 있다.

시스템 구성은 3개의 축, 6개의 기어, 유압 클러치, 구동 체인, 유성기어, 베리에이터(Variator)를 최적의 위치에 설치하여 구성하였으며, 이를 그림 2에 나타내었다.

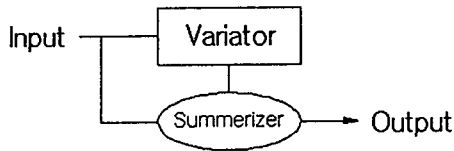


Fig. 1. Concept of CVT

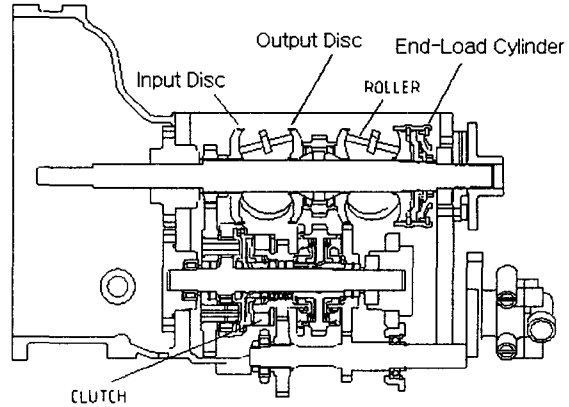


Fig. 2. Layout of CVT

#### 다. 요소 부품 설계 및 제작

##### 1) 무단 변속부

그림 3에 디스크 및 롤러 등으로 구성된 베리에이터부 전체를 3D-모델링하여 나타내었고, 그림 4에 베리에이터 디스크의 실제 가공된 모습을 나타내었다.

베리에이터는 무단변속기의 핵심이 되는 부품으로 디스크, 롤러, 롤러 캐리지, 축, 베어링 등으로 이루어지는데, 각각의 설계에 있어 많은 경험이 요구된다. 또한 이 부분의 성능 향상과 효율 증대를 위해서는 다음과 같은 항목에 대한 지속적인 연구가 필요하다.

- ① EHD(Elasto-hydrodynamic)이론에 의한 초박막 유막을 통한 동력 전달 모형의 확립
- ② 윤활 유막의 온도, 압력에 따른 물리 화학적 특성 변화 파악
- ③ 롤러의 형상(conformity)과 크기에 따른 동력 전달 용량 계산식의 확립

위와 같은 항목에 대해서 지금도 세계적으로 이론 정립을 위한 연구가 행해지고 있으며, 등은 정상상태에 관해서는 상당한 수준으로 규명되어 있으나, 실제 기계 요소로써 사용되는 환경에서의 EHD 이론은 완전히 정립되어 있지 못하다.

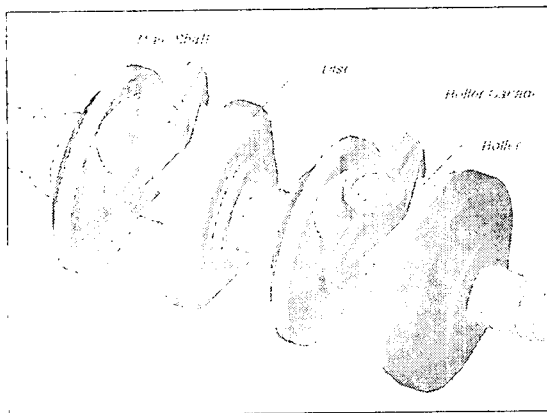


Fig. 3. CVT Variator

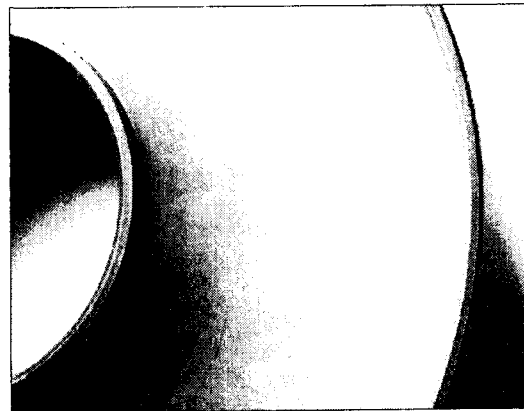


Fig. 4. Variator Disc

본 연구에서는 베리에이터의 변속 방법이 영국 Torotrak 사 특허의 핵심이므로 이 부분의 설계는 일부 Torotrak 사의 기술 협력에 의존하였다.

## 2) 유성 기어부

유성기어부는 링 기어, 유성 기어, 선 기어로 구성되는 데, 각각의 회전 요소가 서로 상관관계를 가지며 회전하게 되므로 한 요소 또는 두 요소의 회전 속도 변화는 다른 나머지 요소의 회전에 직접 영향을 주게 된다. 즉, 3가지 요소 중 1요소를 일정한 속도로 회전시키고, 다른 1요소의 속도를 변화시키면, 나머지 1요소의 회전을 연속적으로(시계방향에서 시계반대방향까지) 변화시킬 수 있다. 이러한 특징을 이용하여 무단변속이 가능한 시스템을 얻을 수 있도록 하였다.

그림 5에 3D로 설계된 유성 기어부를 나타내었다.

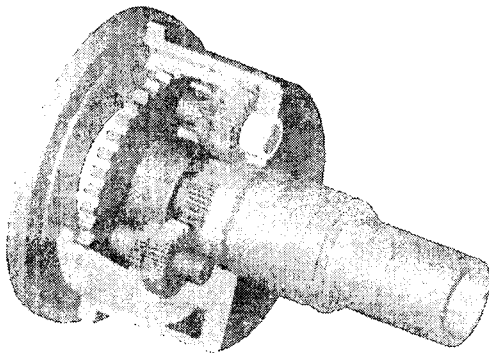


Fig. 5. Planetary Gear

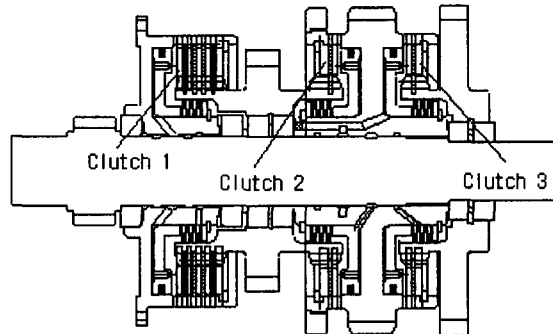


Fig. 6. Mode-shift Hydraulic Clutch

## 3) 유압 클러치

본 연구에서 설계된 유압 클러치는 총 3개로, 모두 습식 마찰클러치를 적용하였다. 설계된 습식 마찰클러치는 구조가 단순하고, 수명이 길며, 토크 전달에 효과적이었고, 또한 작동에 대한 응답이 빠른 장점도 가지고 있었다.

트랙터용 무단변속기에서는 3개의 모드(Mode)를 두어 전체 속도 범위를 운용하게 되는데, 모드 1 클러치의 마찰 판은 4개로 설계되었고, 모드 2, 모드 3 클러치는 1개의 마찰 판을 가지도록 설계되었다.

그림 6에 설계된 유압 클러치의 단면도를 나타내었다.

## 4) 기타 무단변속기 부품

무단변속기의 원활한 작동을 위해 위에서 언급한 주요 부품 외에 변속기 케이스, 캐리지 커버, 각종 축 및 기어류, 베어링, 셸 등을 설계, 제작하였다.

### 라. 무단변속기 작동 시험

제작된 무단변속기에 회전수를 조절할 수 있는 직류 전동기를 연결하여, 무단변속 시험을 수행하였다.

일반적인 수동변속기는 변속 단수가 단계적이기 때문에 차량의 증속을 위해 엔진의 회전 속도

를 반복적으로 증감시켜야 하나, 개발된 무단변속기는 엔진 회전수는 일정한 상태에서 무단 변속만을 통해 증속, 감속을 구현할 수 있도록 하였다.

그림 7에 회전 속도와 속도비 계산에 의해 그려진 변속 Graph를 나타내었다. 그림에서 보면, 수평선으로 나타낸 부분이 엔진 회전속도이고, 굵은 선이 차량 속도를 나타낸다.

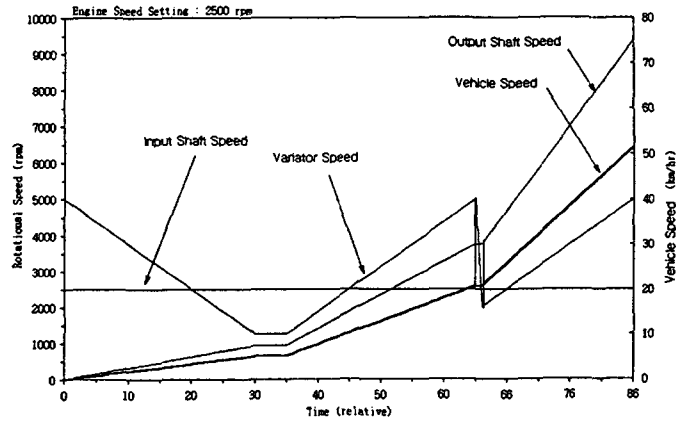


Fig. 7. Speed curves of Engine and Tractor

### 3. 결과 및 고찰

#### 가. 베리에이터의 기본 작동

베리에이터 변속용 유압 밸브로의 출력 신호를 변화시킬 때, 베리에이터의 속도비 (RV, Reduction ratio of Variator)가 변화하는 현상은 본 연구에서 개발하고자 하는 무단변속기의 가장 기본적인 기능이지만, 직접적인 확인을 위해 변속기 내부를 관찰하기 위한 방법을 고안하였다.

베리에이터부의 기본 변속 기능을 육안으로 확인하기 위해 변속기 벽면에 아크릴 창을 만들었고, 또한 내부를 관찰하는데 도움이 되는 소형 전등을 설치하였다.

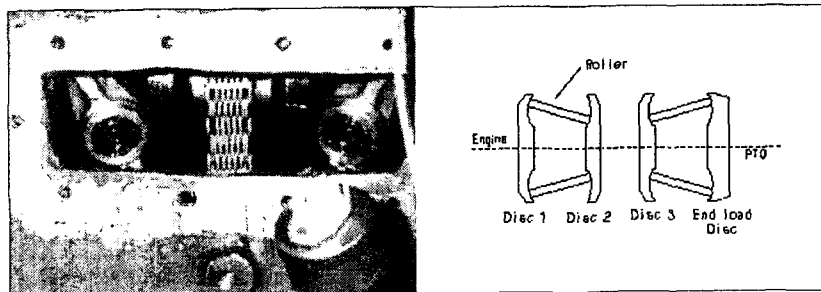


Fig. 8. Roller Position in Shifting [RV = 2.0]

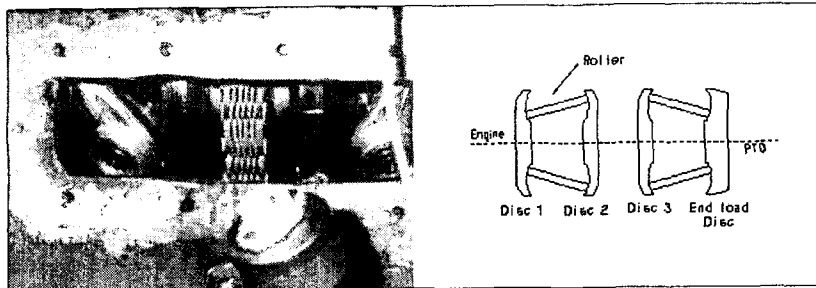


Fig. 9. Roller Position in Shifting [RV = 0.5]

그림 8과 9는 각각 베리에이터 속도비가 2.0에서 0.5로 변화할 때, 롤러의 위치가 변화되는 현상을 보여주는 것으로 베리에이터 속도비가 2.0일 때 롤러가 위쪽으로 이동하며, 0.5일 때 아래쪽으로 이동한다.

#### 나. 무단변속에 의한 차량 속도의 변화

무단변속기 장착 트랙터의 대표적인 특징으로 일정 엔진 속도에서 무단 변속에 의해 차량 속도를 점차 증가하게 할 수 있는 기능을 들 수 있으므로, 입력 축 속도를 1000 rpm으로 일정하게 유지한 상태에서 변속 유압밸브 조절에 의해 차량의 속도가 실제 무단 변속하여 원하는 속도까지 변화시키는 시험을 수행하였다.

그림 10에 속도비 변화에 따라 차량 속도가 무단변속에 의해 증가되는 그래프를 나타내었다.

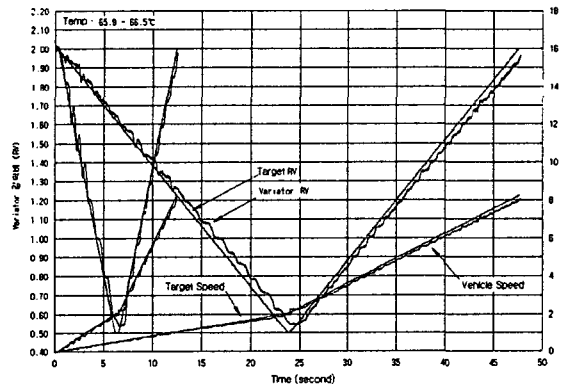


Fig. 10. Speed Curves of CVT Tractor

## 4. 요약 및 결론

본 연구는 농업용 트랙터에 적용하기 위한 무단변속기를 개발하기 위한 것으로, 트랙터에 적합한 무단변속 방식을 선정하였고, 시스템 설계 및 요소부품 설계 후 무단변속기 시작품을 완성하였다.

또한 무단변속 기능의 확인을 위해 개발된 시작품을 이용하여 다양한 실험실 시험을 수행하였으며, 이를 통해 트랙터 변속기에 적용된 Full-토로이달 방식 무단변속기의 속도비 제어 성능이 우수한 것을 확인하였다.

현재 본 연구에서 개발된 변속기를 트랙터에 탑재하여 포장시험 및 내구성 시험을 수행하고 있으며, 개인용 컴퓨터를 이용하고 있는 콘트롤러도 전용화하는 연구를 수행 중에 있다.

## 5. 참고문헌

1. 강성봉, 1994. 트랙터의 기관속도 및 변속비의 자동제어에 관한 연구. 서울대학교. 박사학위논문
2. Greenwood, C.J., 1984. The design, Construction and Operation of a Commercial Vehicle Continuously Variable Transmission, Proc. Inter. Mech. Eng., C11/84.
2. Patterson, M., 1996. The Full-Toroidal Variator in Theory and in Practice. Proceedings of the International Conference on Continuously Variable Transmissions, 95-100