

# 자동차용 무단 변속기



● 1958년생.  
● 동역학을 전공하였으며, 차량동역학, 무단변속기, 현가장치 설계기술 개발에 관심이 있다.

김만식

대우자동차(주) 기술연구소



● 1964년생.  
● 기계설계공학을 전공하였으며, 시스템 설계 기술 개발에 관심이 있다.

최영덕

대우자동차(주) 기술연구소

## 1. 머리말

지난 십여 년 전부터 자동차 연비에 관한 법적 규제가 강화되고 소비자의 자동 변속기에 대한 기대치가 증가하면서, 오랜 역사를 가지면서도 신뢰성의 부족 등의 이유로 그 동안 무단 자동 변속기에 가리어 빛을 보지 못하던 무단 변속기가 관련 소재 및 가공 기술의 발달에 힘 입어 점차 주목을 받고 있다. 여기서는 자동차용으로 사용될 수 있는 무단 변속기의 핵심 요소인 무단 변속기구 몇 가지에 대하여 소개하고 최근의 무단 변속기 개발 동향에 대하여 소개하기로 한다. 그리고 여러 가지 무단 변속기 중에서 무단 변속 기구와 유성 기어를 사용하여 구성할 수 있는 무단 변속기의 구조와 특성에 대하여 논하고 이러한 특성을 이용하여 구성할 수 있는 무단 변속기의 시스템 구성 원리와 작동 원리에 대하여 소개하기로 한다.

## 2. 유단 변속기와 무단 변속기의 차이

현재까지 승용차용으로 널리 사용되는 변속기는 5단 수동 변속기와 4단 자동 변속기이다. 5단 수동 변속기는 엔진과 차량 간의 동력 전

달 경로를 단속할 수 있는 통상의 건식 단판 클러치, 전진에 사용되는 5쌍의 기어와 후진에 사용되는 1세트의 기어 그리고 이들 기어를 선택하는 동기 치합 기구(sychromesh mechanism)로 이루어 진다. 통상의 4단 자동 변속기는 토크 컨버터(torque converter)라고 하는 유체 동력 전달 기구, 유성 기어 기구(planetary gear train), 변속 작동을 수행하는 여러 가지 서보 기구 및 액츄에이터(actuator) 그리고 이 들을 제어하는 유압 제어 장치로 구성되어 있다.

통상의 5단 수동 변속기 또는 4단 자동 변속기와 같이 유한한 변속비를 갖고 수동 또는 자동으로 필요에 따라 변속비를 전환하여 사용하는 변속기를 유단 변속기라 할 수 있다. 이에 대하여 일정한 변속비 범위 내에서 연속적으로 변속비를 변화시킬 수 있는 변속 장치를 무단 변속기(continuously variable transmission)라 한다.

유단 변속기에 있어서 변속비의 선정은 차량에서 요구되는 등판 성능, 최고 속도, 연비 등과 엔진의 출력 토크(torque)를 고려하여 이루어진다. 일반적으로는 등판 성능에 의하여 최대 변속비를 설정하고 연비 등을 고려하여 최소 변속비를 선정한 후 나머지 변속비는 두 변속비 사이에서 적절히 나눔으로써 결정하게 된다.

변속기의 최소 변속비는 작을수록 연비가 향상되고 최대 변속비가 클수록 가속 성능이 향상되므로 일반적으로 변속비 범위가 넓을수록 연비와 가속 성능을 종합한 변속기의 성능이 향상되는 것으로 알려지고 있다.<sup>(1)</sup> 그러나 무단 변속기의 경우 각 단 간의 변속비 차이를 무리하게 넓히게 되면 변속시 급격한 엔진 속도의 변화, 가속력의 변화 등이 발생하게 되고 이는 변속기를 포함한 구동 계통의 각 부분에 무리한 힘을 가하여 파손 및 고장을 야기할 수 있을 뿐 아니라 운전자에게는 불쾌한 변속 충격을 주게 된다. 이러한 단점을 없애기 위하여 변속 단수를 증가시키는 경우 변속기의 부품 수를 증가시키고 변속기의 구조를 더욱 복잡하게 하여 제조 원가를 상승시키고 변속기의 크기 및 무게를 증가시킬 우려가 있을 뿐 아니라 수동 변속기의 경우 운전자에게 번거로운 변속기 조작을 강요하게 된다.

한편 자동차용 엔진이 특정한 값의 동력을 발생시키는 데 필요한 연료 소모율은 그림 1에서 보는 바와 같이 엔진의 회전 속도와 출력(power)에 의하여 결정된다.<sup>(1)</sup> 차량이 정속 주행을 하는데 필요한 동력은 차량 속도와 주

행 저항에 따라 결정되고 엔진 회전 속도는 차량 속도와 변속비에 따라서 결정된다. 따라서 무단 변속기를 장착한 차량은 연비의 최적 여부와 관계없이 정해진 엔진 회전 속도에 의한 연비를 가져야만 한다.

무단 변속기는 변속비 간의 차이가 극히 적은 무한히 많은 변속비를 가지고 있는 변속기라 볼 수 있으므로 변속비 범위를 확장하여도 무단 변속기에서 우려되는 변속시의 충격 등은 발생하지 않는다. 또한 무단 변속기에 있어서는 변속비 범위의 확장이 변속기의 구조를 복잡하게 하거나 부품 수의 증가를 통하여 이루어지기보다는 특정 부품의 사양 변화에 의하여 얻어질 수 있으므로 성능 향상을 위하여 변속 범위를 확장하는 경우에도 무단 변속기에서의 경우와 같은 현격한 제조 원가의 상승은 일어나지 않는다. 그리고 무단 변속 기구의 변속비 조절을 위하여 별도의 조절 장치를 가진 무단 변속기는 엔진 속도를 차량 속도와 관계없이 제어함으로써 정속 주행시 엔진이 발휘할 수 있는 최대의 효율을 기대할 수 있다.

### 3. 무단 변속 기구의 종류

무단 변속 기능을 수행시키기 위하여 여러 가지 기구 들이 고안, 연구되어 왔는데 여기서는 자동차용으로 적용 가능한 것 중 현재 널리 주목 받고 있는 것에 대하여 다루도록 하겠다.

#### 3.1 벨트(혹은 체인)와 가변 풀리를 사용하는 구동 장치

간단한 작동 원리를 배경으로 비교적 오래 연구되어 왔는데 현재는 그림 2에서 보이는 바와 같이 고무 벨트(elastomeric belt), 압축형 금속 벨트(push-type steel belt) 혹은 인장형 금속 체인(tension type steel chain)과 유압 서보(hydraulic servo)가 부착되어 유효 반경을 변화시킬 수 있는 두 개의 풀리를 갖는 구조로 정형화되었다. 고무 벨트를 사용하는 무단 변속 기구는 미국의 Gates Power Trac, 유럽의

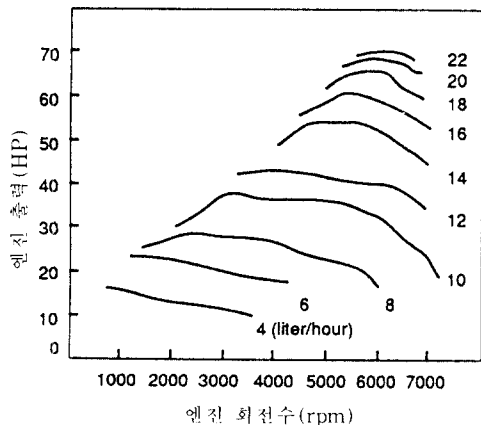


그림 1 승용차 엔진의 등가 연료 소모율 선도의 예

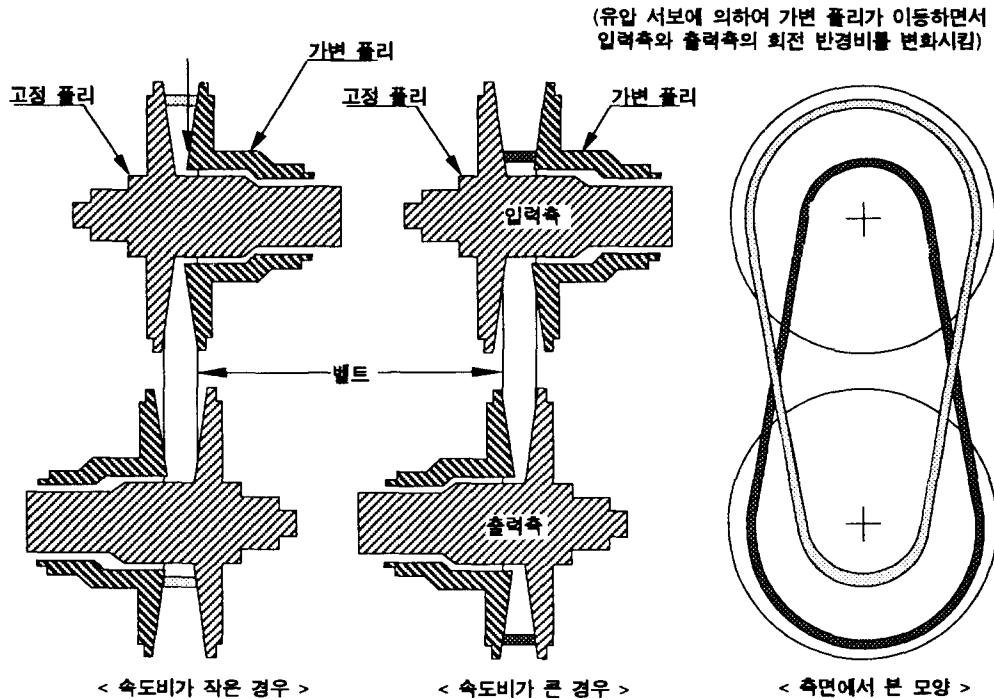


그림 2 벨트(혹은 체인)와 가변 풀리를 사용하는 무단 변속 장치

Kumm Fiat 등의 회사에서 연구 개발 중에 있다. 일종의 트랙션 드라이브(traction drive) 기구로 압축형 금속 벨트를 사용하는 기구로는 Van Doo me Steel Belt and Pulley System이 널리 보급되어 Fiat, Ford, Lancia, Subaru, Nissan 등의 회사에서 적용 및 연구 개발 중에 있고<sup>(2)</sup> 인장형 금속 체인을 사용하는 기구로는 Borg Wamer Automotive, Piv Antrieb Werner Reimer, Suzuki 등의 회사에서 연구 개발 중이다.<sup>(3~6)</sup>

벨트(혹은 체인)와 가변 풀리를 사용하는 무단 변속기구는 전달 토크 용량의 제약, 변속비 범위의 제약 등의 구조적 단점을 갖고 있어 일본과 유럽의 자동차 업계를 중심으로 엔진 배기량 1,500cc 미만의 소형 차종에의 적용은 활발해지고 있으나 중형 이상 차종에의 적용은 새로운 기술의 개발을 필요로 하고 있다.

### 3.2 토릭 드라이브

그림 3에서 보이는 바와 같이 금속 로울러(metal roller)와 토로이달 형상의 표면(toroidal surface)을 갖는 레이스(race)로 구성되어 로울러의 경사각을 변화시켜 변속을 하는 무단 변속 기구로 일종의 트랙션 드라이브 기구이다.<sup>(7~9)</sup> 1920년 대 미국인 Frank Hayes에 의하여 발명되어 1930년대 Austin Motors의 모델-16, 모델-18에 적용되었고 이후 1950년 대 까지 GM과 영국의 Perbury사에서 연구 개발 되었으나 1960년대 이후 GM은 무게, 크기, 제조 원가 등의 이유로 개발을 중단한 것으로 알려지고 있다.

토릭 드라이브(toric drive)는 작동이 정숙하고, 비교적 넓은 범위의 무단 변속을 원활히 수행할 수 있다는 점 등 승용차용 변속 기구로서 적합한 측면이 있다. 그러나 토크 증배가

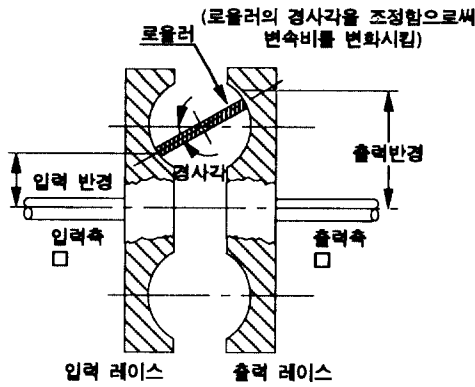


그림 3 토릭 드라이브(toric drive)

필요한 경우 금속 로울러와 토로이달 형상의 표면을 갖는 레이스 사이에 큰 접촉 압력이 요구되어 금속 로울러와 토로이달 형상의 표면을 갖는 레이스와의 접촉면에 높은 가공 정밀도가 요구되고 고온, 고압에 견디는 윤활제의 개발을 필요로 하는 등의 해결 과제를 안고 있다.

### 3.3 유압 구동 장치

유압 구동 장치(hydrostatic drive)는 액시얼 플런저 형식(axial plunger type)의 가변 용량 유압 펌프와 유압 모터 혹은 가변용량 유압 모터와 유압 펌프로 구성되어 정밀한 속도 제어가 가능하고 동력의 단속이 없이 출력축의 정회전, 정지 및 역회전이 가능하여 전·후진의 전환이 빈번한 차량 그리고 정밀한 속도 제어가 필요한 차량 등에 많이 적용되고 있는데 크고, 무겁고, 비교적 고가이기 때문에 승용차에 적용은 어려우리라 보여진다.

### 3.4 토크 컨버터

토크 컨버터는 입력축의 속도, 출력축의 속도, 입력축에 전달되는 동력에 의하여 출력축의 출력 동력이 결정되는 유체 기계로서 출력축의 속도를 입력축의 속도로 나눈 값 혹은 속도비(speed ratio)가 작아질수록 출력 토크를 입력 토크로 나눈 값 혹은 토크 증배비(torque

ratio)가 커지는 성질을 가지고 있으므로 비록 한정적이기는 하나 그 자체로서 무단 변속 기구의 기능을 할 수 있다. 그러나 속도비가 작아질수록 효율이 나빠지므로 속도비가 작아지는 조건에서는 되도록 사용되지 않도록 배려된 구조를 가진 변속기에서 사용된다.<sup>(10,11)</sup>

## 4. 무단 변속기 개발 동향

### 4.1 무단 변속기의 개발 현황

1970년대 두 차례의 걸친 오일 쇼크 이후 이전까지는 자동차에 있어서 중요하게 여겨지지 않던 연비 문제가 대두되기 시작하여 1980년대에 들어오면서 배기 가스 규제와 더불어 연비 규제가 강화되자 차량의 경량화, 구동계의 최적 설계 및 최적 제어 기술의 개발에 대한 시도와 함께 1960년대 이후 부진했던 무단 변속기에 대한 연구 개발이 활발해 지면서 1980년대 후반부터 여러 자동차 관련 제조 회사들에서 여러 종류의 무단 변속기가 발표되었고 이들 중 Volvo의 VT-1, Fuji Heavy Industry의 ECVT, Nissan Motor의 NCVT, Suzuki Motor의 SCVT 등의 무단 변속기는 각각 Rover의 Metro, Subaru의 Justy, Nissan Motor의 March, Suzuki의 Cultus Convertible에 장착되어 이미 상업화되었다.

각 자동차 관련 제조 업체들의 무단 변속기 관련 개발 현황은 표 1과 같다.

### 4.2 둘 이상의 경로를 통한 동력 전달

무단 변속기와 관련된 기술은 무단 변속 기구 자체에 관한 기술과 무단 변속 기구를 사용하여 무단 변속기를 구성하는 기술로 나눌 수 있다. 또한 무단 변속기를 구성하는 방법으로는 엔진 동력 전부가 무단 변속 기구를 통하여 전달되도록 하는 방법과 무단 변속 기구와 유성 기어를 결합하고 엔진으로부터 발생된 동력을 둘 이상의 경로를 통해 전달하여 엔진 동력의 일부만이 무단 변속 기구를 통과한 후 유성 기어를 통하여 합치는 방법으로 크게 나눌 수

표 1 무단 변속기의 개발 현황

무단 변속기의 형태	무단 변속 기구	풀러치 기구	전후진 전환 기구	명칭 (개발 회사)	기타
무단 변속 기구만을 사용	V - Belt 와 Pulley	본말 자성체 풀러치	등기 치합식 치차 기구	Electro Continuously Variable Transmission (Fuji Heavy Inc.)	Justy (Subaru) 에 탑재 Push Belt
		본말 자성체 풀러치	등기 치합식 치차 기구	NCVT (Fuji Heavy Inc.)	March (Nissan) 에 탑재 Push Belt
		전자 제어 진공 작동 자동 풀러치	유성 기어 기구	(Piv Antrieb Reimer)	Golf (VW) 에 탑재하여 시험 Push Belt
		Torsional Vibration Damper와 습식 단판 풀러치	등기 치합식 치차 기구	Suzuki Continuously Variable Transmission (Suzuki)	Cultus (Suzuki) 에 탑재 Tension Chain
		Torsional Vibration Damper	유성 기어 기구	Multi-Pass Continuously Variable Transmission (Borg Warner Automotive)	Fiesta, Escort (Ford) 에 탑재하여 시험 Tension Chain
		Torque Converter	유성 기어 기구	Continuously Variable Transaxle (Ford Werke AG)	Escort (Ford) 에 탑재하여 시험 Tension Chain
		Torsional Vibration Damper	유성 기어 기구	Unomatic (Fiat)	Uno (Fiat) 에 탑재 예정 Push Belt
		Torque Converter	유성 기어 기구	VT-1 (Volvo)	Metro (Rover) 에 탑재, Push Belt
		Torsional Vibration Damper와 Torque Converter	유성 기어 기구	Dual Mode Continuously Variable Transmission (Ford)	Tension Chain
무단 변속 기구와 유성 기어 기구를 조합하여 사용	V - Belt 와 Pulley	없음	유성 기어 기구	Split-Torque, Geared-Neutral Transmission (GM)	선 기어 제어 Tension Chain
		Hydrostatic Drive	없음	유성 기어 기구	Infinitely Variable Speed Gear Drive (Getrag)
	Toric Drive	없음	유성 기어 기구	Perbury Traction Transmission (Perbury)	캐리어 제어

있다. 무단 변속 기구 자체와 엔진 동력 전부가 무단 변속 기구를 통하여 전달되는 구조에 대하여는 여러 논문에서 잘 다루고 있는 관계로 무단 변속 기구와 유성 기어를 결합하여 엔진 동력을 둘 이상의 경로를 통하여 전달하는 구조의 무단 변속기에 관하여 논하도록 한다.

유성 기어 기구는 선기어(sun gear), 링기어(ring gear), 피니언(pinion)과 캐리어(carrier)로 구성된다. 피니언은 선기어와는 외접하고 링기어와는 내접한다. 유성 기어의 피벗(pivot) 축은 캐리어에 의하여 연결되어 있다. 피니언은 자전과 공전을 모두 한다. 특히 공전은 바

로 캐리어의 회전 운동이 된다. 선기어, 링기어, 캐리어의 회전 속도를 각각  $\omega_S$ ,  $\omega_R$ ,  $\omega_C$ 라 하고 링기어의 잇수에 대한 선기어의 잇수의 비를  $\lambda$ 라 하면 유성기어 기구의 운동은 식 (1)을 만족한다.

$$(1 + \lambda) \omega_C = \omega_R + \lambda \omega_S \quad (1)$$

따라서 유성 기어 기구의 세 요소중 두 요소의 속도가 결정되면 나머지 한 요소의 속도는 자동으로 결정된다. 이와 같은 특성을 가진 유성 기어를 앞서 설명한 무단 변속 기구와 결합하여 사용하면 무단 변속기의 특성을 변화시킬

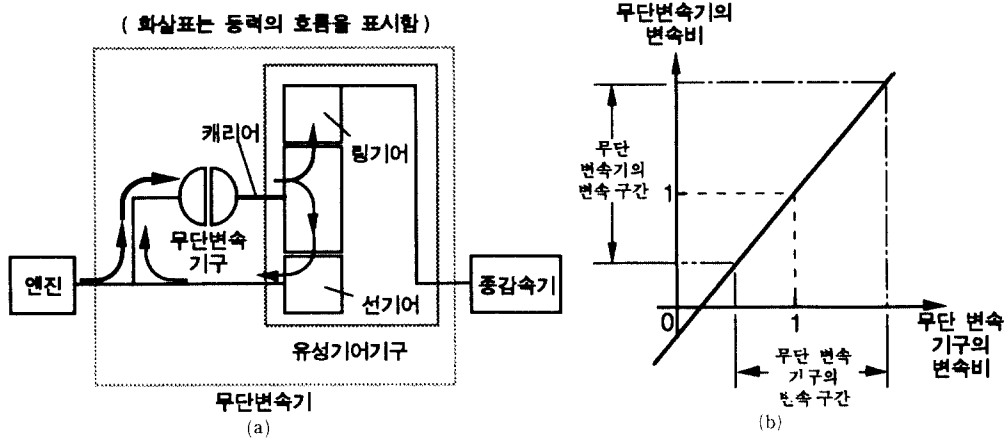


그림 4 변속비가 넓어지는 무단 변속기 구조의 동력흐름(a)과 변속 구간(b)

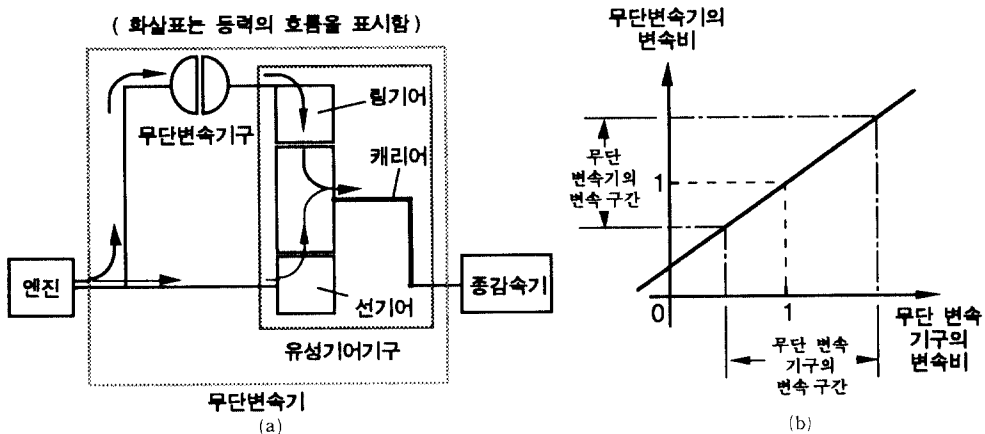


그림 5 변속비가 좁아지는 무단 변속기 구조의 동력흐름(a)과 변속 구간(b)

수 있다.

예를 들어, 그림 4와 그림 5에 보이는 바와 같이 유성 기어 기구의 선기어에 엔진의 출력축을 직결하고 링기어나 캐리어 중의 하나를 엔진과 무단 변속 기구를 통해 연결하고 나머지 하나를 변속기 출력축과 연결할 수 있다. 이와 같이 하나의 유성 기어를 하나의 무단 변속 기구를 사용하여 엔진과 연결하는 방법에도 수십 가지의 조합이 가능하나 이들이 무단 변속기의 특성을 어떻게 변화시키는가에 따라 다음과 같이 두 가지로 분류될 수 있다.

(1) 속도비의 범위를 넓히는 구조

예를 들어 그림 4에 표시된 것과 같은 구조의 것으로 변속기의 변속 구간은 무단 변속 기구의 변속 구간보다 넓어지게 된다. 무단 변속 기구를 통과하는 동력은 엔진의 출력 동력 외에 일부 동력이 재순환하여 통과하므로 엔진의 출력 동력보다 커져 토크비의 범위와 토크의 최대 증배비가 증가한다. 따라서 급가속 성능이 향상되나 무단 변속 기구에서의 동력 손실이 증가하므로 변속기의 기계적 효율은 감소한다.

(2) 속도비의 범위를 좁히는 구조

예를 들어 그림 5에 표시된 것과 같은 구조의 것으로 변속기의 변속 구간은 무단 변속 기구의 변속 구간보다 좁아지게 된다. 엔진의 출력 동력 중 일부만이 무단 변속 기구를 통과하므로 동력 손실이 감소하고 변속기의 기계적 효율은 증가하나 토크비의 범위도 좁아지므로 급가속시에는 불리하다.

한편, 속도비의 범위를 넓히는 구조에 있어서는 무단 변속 기구의 변속비 조절을 통하여 변속기의 출력축이 정지하거나 역회전하도록 하는 것도 이론적으로 가능하며 실제로 이 원리를 이용하여 한 가지 무단 변속 구조에서 변속기의 전진, 역진, 중립의 상태가 이루어지도록 고안된 무단 변속기도 있다.<sup>(12)</sup>

위에서 설명한 두 가지 구조를 하나의 변속기 내에 포함시키고 상황에 맞도록 두 구조 간의 취사 선택이 가능하도록 한다면 변속기의

총체적인 능력은 향상될 것이다. 이러한 구상은 무단 변속기의 구조 설계에 보다 넓은 가능성을 제시하며 이 측면에서 아직도 많은 연구 개발의 여지를 남기고 있다.

4.3 토크 컨버터와 유성 기어를 이용한 무단 변속기

앞서 소개한 무단 변속 기구 중 토크 컨버터를 제외한 나머지 기구는 변속 조절 장치가 필요하며 이 조절 장치에 의하여 임의의 변속비를 가지도록 할 수가 있다. 그러나 토크 컨버터는 그러한 조절 장치가 사용되지 못하고 속도비는 토크 컨버터의 입력축과 출력축에 부과된 동역학적 조건에 의하여 결정된다. 이러한 토크 컨버터를 그림 4와 그림 5에 표시되어 있는 무단 변속 기구의 자리에 배치하여 유성 기어와 결합하면 무단 변속을 얻을 수 있는 장치

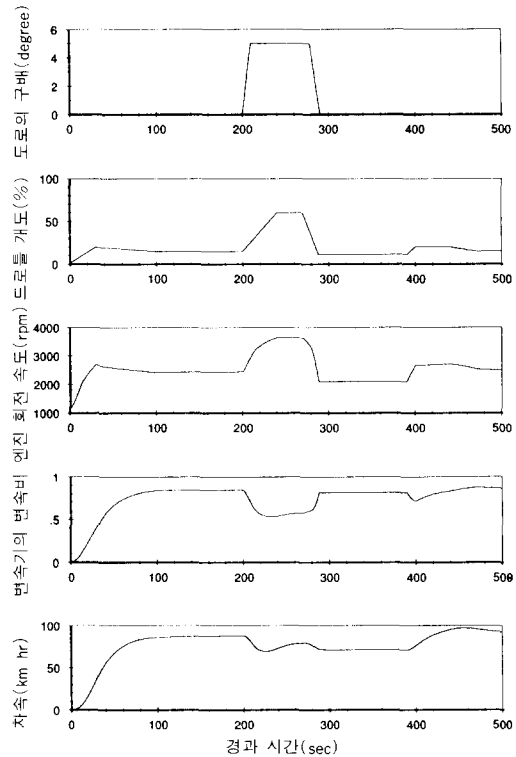


그림 6 토크 컨버터와 유성 기어를 이용한 무단 변속기를 장착한 차량의 주행 특성

를 만들 수 있고, 이 무단 변속기의 변속비는 변속기의 입력축과 출력축에 부과된 동역학적 조건에 의하여 결정된다.

여기서 흥미로운 사실은 이처럼 별도의 조절 장치가 없는 무단 변속기의 작동이 그림 6에서 보여지는 바와 같이 자동차용 자동 변속기로서 기본적으로 갖추어야 할 변속 특성을 가질 수 있도록 설계할 수 있다는 점이다. 즉, 엔진의 출력 토크에 대한 주행 저항이 점차 커지는 상황에서는, 예를 들어 오르고 있는 오르막의 경사가 심해지는 경우에는 감속비가 커지게 되고, 정속 주행 시에는 변속기가 낼 수 있는 최저의 감속비 근방에서 작동하고, 급가속을 위해 가속 페달을 깊이 밟으면 감속비가 순간적으로 증가한 후에 점차 감소하는 등의 특성을 갖게 된다.

그런데 앞서 설명한 대로 한 가지 결합 구조를 가진 무단 변속기로는 가속 성능과 연료 효율을 동시에 만족시키기 곤란하므로, 몇 가지의 무단 변속 구조를 한 변속기 내에 가지고 있도록 하고 운전 상황에 맞게 이들 구조 중 가장 적합한 것을 통하여 동력이 전달되도록 구조 변환이 이루어지는 무단 변속기를 만들 수 있을 것이다. 이들 구조 간의 변환을 위하여 통상 유단 자동 변속기에서 사용하는 다판 클러치 등을 사용할 수 있다. 이렇게 하여, 유단 자동 변속기에서 사용하는 부품만을 이용하되, 이들 부품의 배열을 유단 자동 변속기에서와는 달리함으로써 무단 변속기를 구성할 수 있다.

변속기가 운전자의 요구와 운전 조건에 대응하는 원리를 살펴보면, 이렇게 만든 무단 변속기가 유단 변속기보다 더 좋은 성능이 기대된다. 무단 변속기에서 한 개의 구조를 추가하는데 소요하는 부품은 유단 변속기에서 한 개의 단을 추가하는 데 소요되는 부품과 비슷하나 유단 변속기와 동등한 성능의 무단 변속기를 꾸미기에 필요한 구조의 수는 유단 변속기의 단 수보다 적게할 수 있을 것으로 예상되기 때문이다. 즉 현재까지의 연구 결과로 보아 4단

혹은 5단 유단 자동 변속기가 갖는 성능을 2개 혹은 3개의 가변 구조를 갖는 무단 변속기로 얻을 수 있을 것으로 예견되고 있다.

## 5. 맺음말

현재 널리 사용되고 있는 유단 자동 변속기는 수십 년의 기간을 두고 개선되어 상당히 최적화되어 있고 현재는 관련 기술이 거의 최고점에 도달해 있는 것으로 보인다. 이에 반하여 무단 변속기는 이제 막 실용화의 단계로 들어서고 있으며 앞으로의 사용 확대 여부는 관련 기술의 발전의 정도에 의하여 결정될 것으로 보인다. 자동차 산업에 있어서의 변속기가 갖는 중요성에 비추어 선진 각국의 무단 변속기에 대한 꾸준한 기술 개발과 특허를 통한 기득권 확보 노력은 당연한 것으로 보여진다. 무단 변속 기구에 관한 한 선진 자동차 회사에 의한 기술 독점이 상당히 진행된 단계이나 아직도 무단 변속기의 시스템 구성 기술에 관한 개발의 여지가 많고 이에 관한 독자적 기술 확보도 비교적 용이한 것으로 보이므로 자동차 산업의 선진화를 위해 노력하는 국내의 자동차 관련 업체나 학계로부터의 보다 많은 관심이 기대된다.

## 참고문헌

- (1) Falzoni, G. L., 1984, "The 'Unomatic' Transmission," SAE 841307.
- (2) Sakai, Yasuhito, "The 'ECVT' Electro Continuously Variable Transmission," SAE 880481.
- (3) Hahne, D., 1984, "A Continuously Variable Automatic Transmission for Small Front Wheel Drive Cars," IMechE.
- (4) Stockton, T.R., 1984, "The Ford Research Dual Mode Continuously Variable Transmission," SAE841305.
- (5) Hirano, S., Miller, A. L. and Schneider, K.



- F., 1991, "SCVT-A State of the Art Electronically Controlled Continuously Variable Transmission," SAE910410.
- (6) Lindquist, T. K., et al., "Multi-Pass Continuously Variable Transmission."
- (7) Stubbs, P.W.R., "The Development of a Perbury Traction Transmission for Motor Car Application," Transaction of the ASME.
- (8) Fellows, T. G. and Greenwood, C. T., 1991, "The Design and Development of an Experimental Traction Drive CVT for a 2.0 Litre FWD Passenger Car," SAE 910480.
- (9) Greenwood, C.J., 1984, "The Design, Construction and Operation of a Commercial Vehicle Continuously Variable Transmission," IMechE.
- (10) Hrovat, D. and Tobler, W.E., 1985, "Automotive Torque Converters," J. of the Franklin Institute, Vol. 2.
- (11) Minato, K., Sakamoto, K., Takagi, M. and Fujitani, K., 1990, "A Performance Prediction of Hydrodynamic Torque Converter," SAE 900555.
- (12) Hanachi, S., 1990, "A Study of the Dynamics of a Split-Torque, Geared-Neutral Transmission Mechanism," Journal of Mechanical Design, Vol. 112. 