

〈논 문〉 SAE NO. 97370111

## 금속벨트식 무단변속기(CVT)의 변속특성에 관한 실험적 연구

### An Experimental Study on the Shift Characteristics of a Metal Belt Type Continuously Variable Transmission (CVT)

이 충 섭\*  
C. S. Lee

#### ABSTRACT

To cope with the quest to improve the fuel economy and vehicle performance, Continuously Variable Transmission with changing the speed ratio between minimum and maximum ratio by infinite step, is more efficient than conventional multi-ratio transmission.

In this paper, to investigate a specific CVT shift ratio diagram and CVT shift characteristics, CVT vehicle was tested on the proving ground and chassis dynamometer. The test results are as follows ; CVT can obtain the excellent vehicle performance and fuel economy by changing the shift ratio by infinite step, without rapid change of engine revolution and driving force. And CVT can set up a special shift range that obtains not only the engine brake effect but also the maximum speed driving.

주요기술용어 : Continuously Variable Transmission(CVT, 무단변속기), Belt Drive Type CVT(벨트 구동 방식 무단 변속기), Metal Push Belt(금속 푸쉬 벨트), Shift Ratio Diagram (변속비 선도), Shift Ratio Coverage(변속비 범위), Shift Ratio Spread(변속비 폭), Shift Ratio Control(변속비 제어)

#### 1. 서 론

변속단(變速段)이 유한(有限)하게 존재하는 기존의 유단(有段)변속기는 일정 기어비로 고정되어 운전되므로 최적의 엔진 출력점 및 최소 연료소비점을 효과적으로 사용하는 것이 어려운 현실이며, 이러한 단점에 대응하기 위한 한 방안으

로 기존의 수동 및 자동변속기가 다단화(多段化)하는 경향이 있지만, 중량, 원가 때문에 다단화에는 한계가 있다. 이에 반하여, 무단 변속기(Continuously Variable Transmission)는 주어진 변속 패턴에 따라 최대-최소 변속비 사이를 연속적으로 무한대의 단계로 변화시킴으로써 엔진특성을 최대한 사용하여 우수한 동력성능과 연비성능을 양립시키는 운전을 가능하게 해 준다.

이러한 무단변속기 개발과 관련한 많은 연구가

\*정회원, 현대자동차 중앙연구소

자동차 메이커와 대학 연구소 등에 의해서 진행되고 있으며, 특히 유럽의 금속 벨트 제조 메이커 및 대학 등에서 벨트 개발에 관한 많은 연구가 진행되어 왔으며,<sup>5)</sup> CVT 개발에 관한 많은 연구가 일본 자동차 메이커에 의해서 진행되고 있다.<sup>7), 8), 9)</sup> 또한, 국내에서는 성대 김현수 교수가 CVT 벨트의 변속특성 및 리그형 CVT의 변속제어 특성에 관한 많은 연구가 꾸준히 진행되어 왔다.<sup>10), 11), 12)</sup>

본 논문에서는 날로 엄격해지는 배기가스 규제와 소비자들의 저연비(低燃費) 요구에 대응하기 위해 자동차 메이커들에게 각광을 받고 있는 무단변속기를 실차에 장착하여, 실차주행시험을 통하여 변속특성이 포함된 변속비선도(Shift Ratio Diagram)를 구하고, 무단변속기 차량의 동력성능 및 연비성능을 기존의 유단변속기 차량과 비교 분석함으로써 무단변속기 차량의 동력성능 특성 및 연비부하특성에 대해 연구하고자 한다.

## 2. 본 론

### 2.1 CVT 특징

벨트식 무단변속기는 1920년대부터 개발된 적이 있으며, 고무벨트를 이용한 무단변속기는 네덜란드 DAF社에 의해 개발된 바리오메틱(Variomatic)이 약 30만대 정도 판매되었지만 고무벨트의 신뢰성 때문에 시장에서 사라졌으나, 현재 양산에 적용하고 있는 무단변속기 모델의 진

형이 되고 있다.

벨트구동방식의 무단변속기는 가변쉬이브(Movable Sheave)와 고정쉬이브(Fixed Sheave)로 이루어진 두 쌍의 풀리(Pulley)에 금속 V-벨트가 끼워져서 구동되는 구조로, 가변쉬이브의 축 방향 이동에 따라 벨트와 풀리와의 유효접촉반경의 변화로 변속비가 변하는 변속 시스템이다. 이러한 변속 시스템에 이용되는 벨트에는 고무벨트, 금속체인 및 금속벨트 등이 있으나, 금속벨트만이 실용화에 성공한 상태이다.

Fig.2는 네덜란드의 반도네社(Van Doorne's Transmissie)에서 개발한 금속벨트(Metal Belt)로, 이 벨트는 풀리의 축력을 받는 약 300개의 블록(Block)과 이들 블록을 연결하는 유연한 얇은 금속판으로 된 2개조의 밴드(Band)로 구성되어 있으며, 블록이 풀리의 축압을 받으며 회전할 때 링에 의해 층상으로 결합된 블록들 사이의 압축력에 의해 동력을 전달하는 구조로서 기존의 인장벨트(Tension Belt)와는 달리 푸쉬벨트(Push Belt)라고 하며, 현재 실용화에 성공한 무단변속기용 벨트의 주류(主流)를 이루고 있다.

현재, 이 벨트는 반도네社에서 제작되어 유럽 포드, 벨기에의 무단변속기 전문제작업체인 VCST社 및 일본의 후지중공업, 혼다자동차 등에 공급되고 있으며, 최근에는 블록두께가 얇은 저소음 벨트 및 고토크 용량을 갖는 벨트도 개발 완료한 상태이므로 이 금속벨트를 채용한 무단

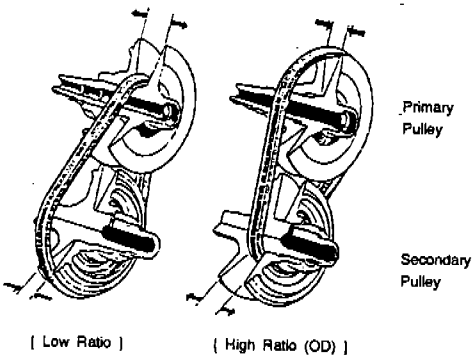


Fig.1 Principle of Belt Drive Type CVT

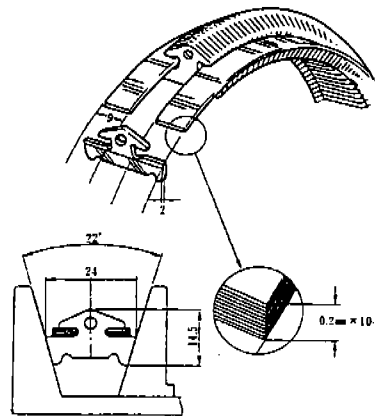


Fig.2 Metal Push Belt(VDT)

변속기의 장래가 매우 밝은 실정이다.

Fig.3은 금속벨트를 채용하여 현재 시판중인 유압 제어식 무단변속기의 단면도를 보여 주고 있다. 이 무단변속기의 구성은 고정쉬이브(Fixed Sheave)와 유압실(Hydraulic Chamber)을 갖는 가변쉬이브(Movable Sheave)로 이루어진 구동 풀리(Primary Pulley)와, 이와 대칭으로 배치된 종동풀리(Secondary Pulley), 블록(Block)과 밴드(Band)로 구성되어 동력을 전달하는 금속 벨트(Steel Belt), 전후진변속을 위한 유성기어장치(Planetary Gear Set)와 전후진 클러치(Forward/Reverse Clutch), 제어용 유압을 공급하는 오일펌프(Oil Pump) 및 차동기어장치(Differential)등으로 구성되어 있다.

동력전달은 우선, 엔진회전과 더불어 오일펌프에 의해 풀리에 유압이 공급되어 벨트 블록 측면을 누르면 벨트는 풀리의 경사면과 접촉하게 되고, 풀리의 압축력으로 인한 블록의 이탈을 링이 지지해 줌으로써 동력을 전달하게 된다.

각각의 풀리는 11°의 경사각을 갖고 고정쉬이브와 가변쉬이브로 구성되어 있으며, 가변쉬이브 뒷면에는 유압실이 구비되어 있어 볼 스플라인

(Ball-Spline)을 따라 축 상을 원활하게 움직인다. 트로틀 개도(Throttle Opening), 엔진회전수, 구동축 회전수, 변속비 및 주행모드를 입력신호로 하여 가변쉬이브의 작동유압을 제어하여 풀리의 홈 폭을 변화시켜 무단변속을 얻는다.

### 2.2 CVT 차량 및 시험

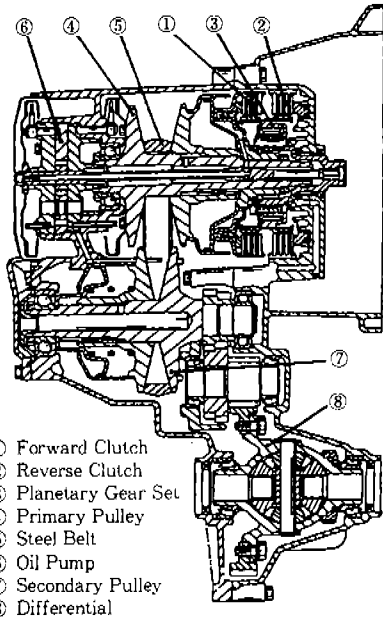
차량의 주행저항에 대응하여 최대-최소 변속비 사이를 연속적으로 무한대의 단계로 변화시킴으로써 우수한 동력성능과 연비를 얻을 수 있고, 특히 변속시 변속쇼크가 없는 우수한 변속품질(Shift Quality)을 지닌 무단변속기에 대하여, 변속시 변속특성을 파악하고, 무단 변속기 장착차의 동력성능특성 및 엔진부하특성을 파악하기 위해 Table 1과 같은 제원의 무단변속기가 장착된 차량을 시험대상으로 삼았다.

변속특성시험은 Fig.4에서와 같이 무단변속기 차량에 엔진 회전수, 트로틀 개도, 차량 속도 및 차량 가속도 등 검출할 수 있도록 센서를 설치하여 주행시험장의 직진로에서 수행하였으며, 데이터 처리는 DT-Vee 소프트웨어를 이용하였다.

또한 엔진부하특성 및 동력성능특성을 파악하기 위한 시험은 새시 다이내모메타(Chassis Dynamometer)에서 수행하였다.

### 2.3 변속비 선도 시험결과 분석

변속특성시험으로부터 얻은 데이터를 근거로



- ① Forward Clutch
- ② Reverse Clutch
- ③ Planetary Gear Set
- ④ Primary Pulley
- ⑤ Steel Belt
- ⑥ Oil Pump
- ⑦ Secondary Pulley
- ⑧ Differential

Fig.3 CVT Section View(P811 Model)

Table 1 Specifications of CVT

Items	Specifications	Remarks
Starting Device	T/Damper+M/W/Clutch	Hydraulic
Ratio Control	Primary Pulley	Hydraulic
Line Pressure Control	Secondary Pulley	Hydraulic
Low Ratio	2.455	
High Ratio	0.442	(OD)
Ratio Spread	5.554	(Low/High)
Final Ratio	1.423×4.050	
Shift Lever Position	P-R-N-D-L	

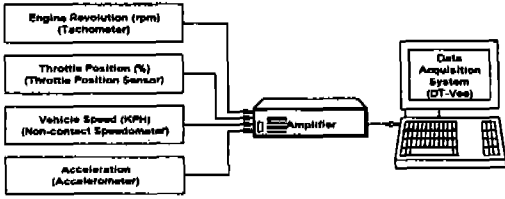


Fig. 4 Data Acquisition System

데이터를 처리하는 소프트웨어(DT-Vee)를 이용하여 각 센서로부터 얻은 데이터들로부터, 엔진회전수와 차속과의 관계인 무단변속기의 변속비선도를 구했다.

Fig.5는 시프트 레버(Shift Lever)의 위치를 D-range에 고정후 트로틀을 전개(全開, WOT)하여 120KPH 정도까지 도달한 후 트로틀 진폐(全閉)하여 차량이 정지하기까지의 과정의 엔진회전수, 차속을 출력한 것이다. 이 그림에서 볼 수 있는바 와같이, CVT는 WOT 주행 중 엔진회전수의 큰 변화가 없이 무단변속을 행하며 이러한 현상은 무단변속기의 동력성능을 증대시키는 중요한 요인으로 작용한다.

Fig.5로부터 엔진회전수와 차속과의 관계인 변속비 선도를 그리면 Fig.6과 같다. 이 선도에서 보면, WOT 주행중 트로틀을 닫으면 오버드라이브(OD)측으로 상단 변속되어 엔진회전수가 급격히 낮아지는 특징이 있다.

Fig.7은 부분 트로틀(Part Throttle : 82.5%, 65%, 47.5% 및 30%)에 대하여 엔진회전수와 차량속도에 대한 변속비선도를 기록한 것이다. 이 변속비선도에서 알 수 있듯이 부분 트로틀 시에는 부분 트로틀에 해당하는 엔진회전수에 고정된 후 무단변속을 행하는 것을 알 수 있다.

Fig.8은 시프트 레버를 D-range에 고정후 전개(WOT) 가속하여 120KPH까지 도달한 후 시프트 레버를 L-range 선택 후 트로틀 진폐(全閉)하여 차량이 정지하기까지의 과정의 엔진회전수 및 차속을 구한 것이다. L-range 감속시 변속선도를 보기 위해, 이 데이터들 근거로 차량속도와 엔진회전수와의 관계인 변속비선도를 구하면 Fig.9와 같다.

이 그림에서 볼 수 있는 바와같이 트로틀 진폐

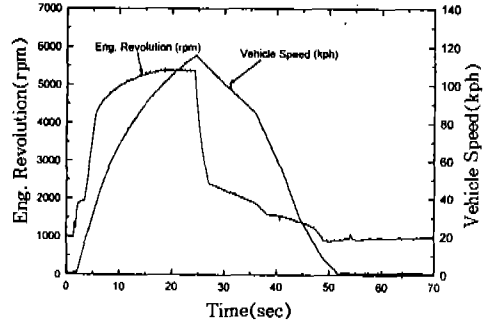


Fig.5 Test Result(D-range)

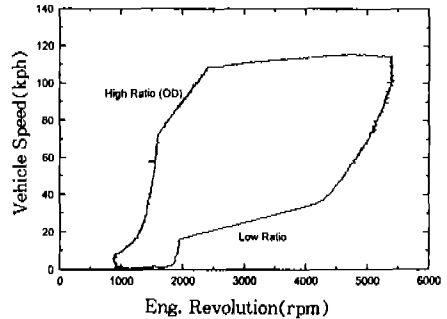


Fig.6 Shift Ratio Diagram(D-range)

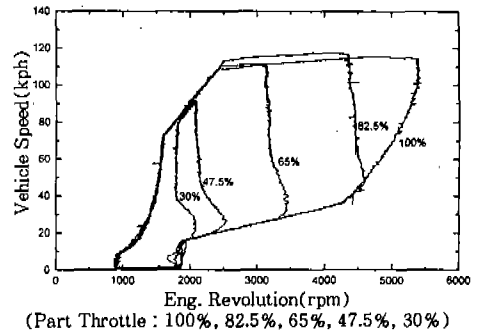


Fig.7 Shift Ratio Diagram(D-range/Part)

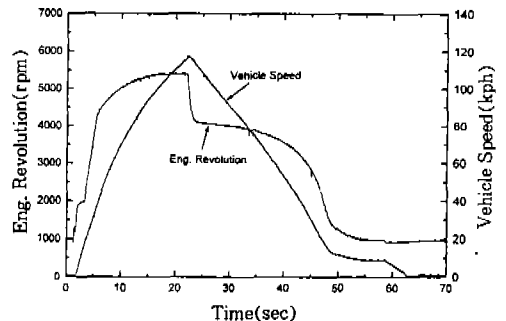


Fig.8 Test Result(L-range)

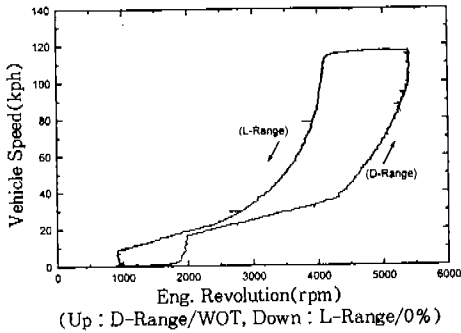


Fig.9 Shift Ratio Diagram(L-range)

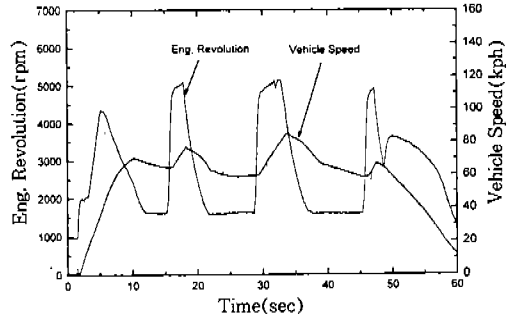


Fig.11 Test Result(K/D↔L/F/U)

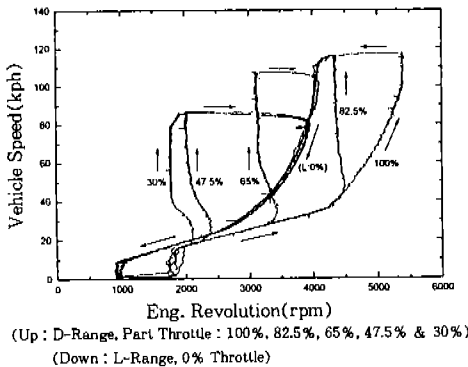


Fig.10 Shift Ratio Diagram(L-range/Part)

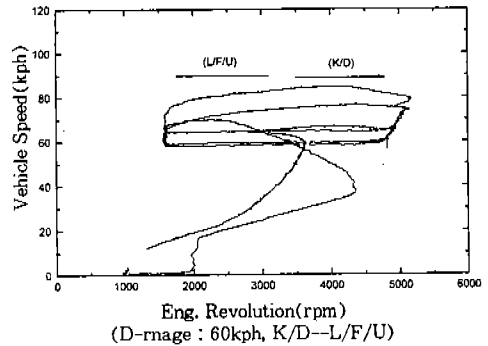


Fig.12 Shift Trace(D-range)

와 동시에 시프트 레버를 L-range로 선택하면, 엔진 브레이크 효과가 D-range 감속시보다 더 큰 것을 알 수 있다.

이것은 L-range의 전폐감속(0%) 변속점을 D-range보다 높은 엔진회전수 영역으로 설정하여, L-range 감속시 엔진브레이크 효과를 크게 얻도록 하였다. 따라서 L-range는 엔진브레이크가 필요한 굴곡이 심한 산악로나 경사로등을 주행할 때 매우 효과적이며, 최고속도까지의 주행도 가능하므로 기존의 자동변속기와는 다른 독특한 변속주행패턴이라 할 수 있다.

Fig.10은 부분 트로틀 상태에서 L-range 선택시의 엔진회전수와 차속과의 관계를 구한 그림이다. 이 그림에서 볼 수 있듯이 주행 중 L-range 선택시는 항상 일정한 변속라인을 따라 주행하는 것을 알 수 있다.

Fig.11은 60KPH 근방에서 K/D(Kick Down)과 L/F/U(Lift Foot Up)을 반복했을 때의 엔진

회전수 및 차속을 나타낸 것이고, 이 때의 변속 선도는 Fig.12와 같다. 여기서 볼 수 있듯이 운전자의 의지(트로틀 개도)에 따라 엔진의 넓은 운전영역을 이용하게 되는 것을 알 수 있다.

Fig.13은 L-range 상태에서 K/D와 L/F/U를 반복하면서 차속을 증가시킬 때의 변속비선도이다. 이 그림에서 알 수 있는 가장 큰 특징은 L-range의 L/F/U시에는 엔진 브레이크가 작동하고, K/D시에는 엔진 고회전영역 사용이 가능하므로, L-range는 가감속이 빈번한 산악로 등에 적합한 변속패턴이라 판단된다.

Fig.14는 CVT가 작동하는 전 엔진영역 및 변속범위를 나타내고 있다. (1)은 WOT 가속시 변속주행 패턴으로 주로 엔진 고회전 영역에서 엔진회전수의 급격한 변화 없이 무한대의 단계로 변속을 행하므로 충분한 동력성능을 얻을 수 있으며, (2)는 D-range 상태에서 트로틀 전폐시의 주행성을 나타내고 있으며 오버드라이브

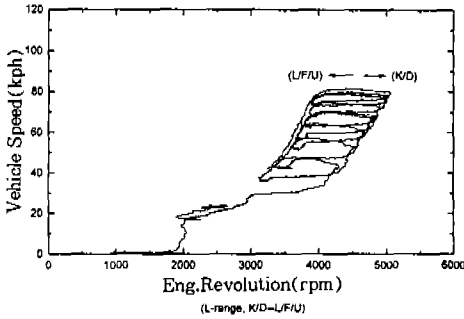


Fig.13 Shift Trace(L-range)

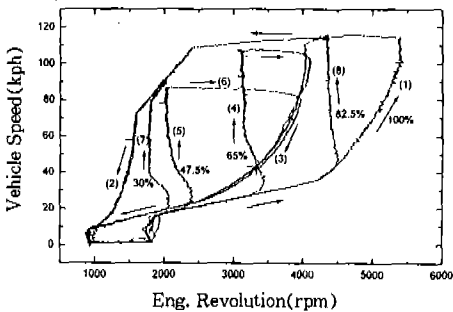


Fig.14 CVT Shift Ratio Diagram

(OD)영역으로 상단 변속하여 엔진회전수를 낮추게 된다. (3)은 L-range 선택시 엔진 브레이크 밸브의 작동에 의해 엔진브레이크효과를 얻을 수 있는 구간 내에서 변속되는 특징이 있는 변속패턴이다. (5)는 부분 트로틀(Parts Throttle : 47.5%) 가속시, 이에 상당하는 엔진 회전수에 도달한 후 무단변속을 행하며, 이 구간에서 트로틀을 전폐감속하면 변속라인 (2)를 따라 감속하고, 부분 트로틀 운전 중에 L-range를 선택하면 (6)을 거쳐서 L-range 변속라인 (3)을 따라 주행하게 된다.

여기서 알 수 있듯이 D-range에서는 운전자의 의지에 따라 엔진 전영역에서 운전되는 것을 알 수 있으며, L-range에서는 엔진 브레이크가 효과적으로 작동하는 특정영역에서 운전되며, 가속시에는 엔진 고회전 영역에서 운전 가능하여 등판로 및 산악로 등을 주행할 때 매우 유용한 변속패턴이라 판단되며, 기존의 자동변속기와는 다른 독특한 변속패턴이라는 것을 알 수 있다.

## 2.4 동력성능 및 연비

무단변속기 장착차의 동력성능 및 엔진부하특성을 파악하기 위해 주행시험 및 새시 다이내모메타(Chassis Dynamometer)시험을 병행하였다.

Fig.15는 무단변속기 장착차와 기존의 자동변속기 장착차의 가속성능을 비교하기 위한 WOT 가속시 차량의 전후 가속도(g)와 그 때의 차속을 나타내고 있다. 여기서 보는 바와같이, 자동변속기 차량은 발진초기에는 토크컨버터의 토크중배작용으로 가속도가 우세하지만, 변속점을 지나면서 가속도가 크게 둔화되는 것을 볼 수 있고, 또한 무단변속기 차량은 엔진의 출력이 높은 고회전영역을 유지하면서 무단변속을 행하기 때문에 가속성능이 우세한 것을 알 수 있다.

무단변속기의 연비를 확인하기 위해 새시 다이내모메타 상에서 US FTP Mode(City Mode 및 Highway Mode로 구성된 미국 연방 배기가스 시험 규정)를 주행할 때의 엔진부하특성을 분석하였다.

Fig.16은 무단변속기 및 자동변속기 차량의 Highway Mode 주행시 엔진거동을 기록한 것이다. 동일모드를 주행할 때 자동변속기차량은 엔진회전수의 변동이 큰 반면, 무단변속기차량은 엔진회전수의 큰 변동 없이 특정회전수를 유지하면서 운전되는 것을 볼 수 있다. 이는 무단변속기차량은 특정회전수에서 무단변속을 행하면서 가감속 주행이 가능하기 때문이다. 따라서 무단변속기는 엔진의 연료소비율이 낮은 영역을 유지한 채 운전이 되도록 변속제어가 가능하므로 연비를 향상시킬 수 있다.

Fig.17은 무단변속기 차량을 새시 다이내모메타 상에서 US FTP Mode를 주행할 때의 운전영역을 표시하고 있으며, 무단변속기 차량이 비교적 최적운전라인(OOL)에 가까운 영역에서 운전되고 있음을 보여주고 있다. 결과적으로 무단변속기가 차량의 연비를 향상시킬 수 있음을 보여주고 있다.

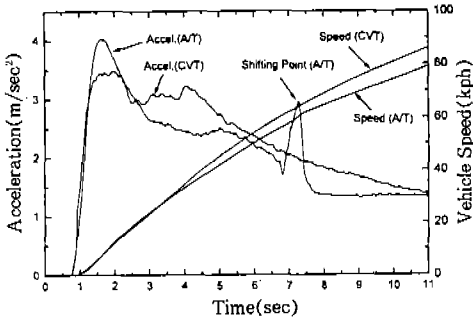


Fig.15 Acceleration Performance

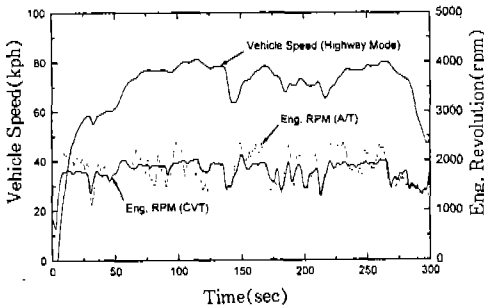


Fig.16 Highway Mode Driving

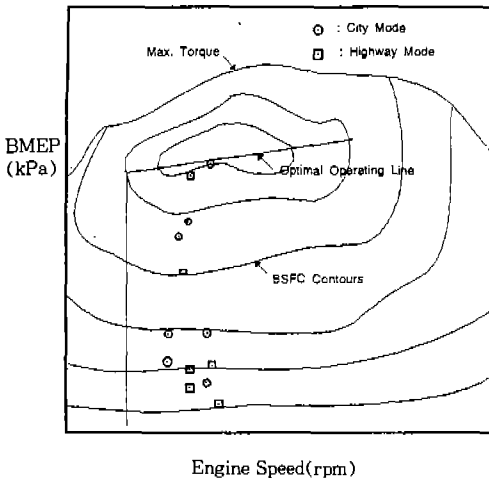


Fig.17 Fuel Economy(CVT Vehicle)

3. 결 론

금속벨트와 풀리의 접촉반경에 따라 최대-최소 변속비 사이를 연속적으로 무한대의 단계로 변화

시킴으로써, 차량의 주행저항에 대응하여 구동 및 종동풀리의 가변쉬이브의 제어로 우수한 동력 성능과 연비를 얻을 수 있고, 특히 변속시 변속 쇼크가 없는 우수한 변속품질(Shift Quality)을 얻을 수 있는 장점을 지닌 무단변속기에 대하여, 변속특성이 내포된 변속비 선도 및 동력성능특성을 시험, 분석함으로써 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 무단변속기는 엔진회전수 및 구동력의 급격한 변화 없이 운전자의 의지(트로틀 개도)에 따라 최소-최대변속비 사이를 무한대의 단계로 변속시킴으로써, 기존의 유단변속기와 비교하여 우수한 동력성능을 얻을 수 있다.
- 2) 최소-최대변속비 사이의 면(面)으로 된 영역에서 변속비 선택이 가능하며, 효과적인 엔진브레이크 작동 및 엔진 고회전영역 사용으로 최고속 주행도 가능한 무단변속기 특유의 변속패턴 설정이 가능하다.
- 3) 무단변속기는 엔진의 연료소비율이 낮은 영역을 유지한 채 운전이 되도록 변속제어가 가능하므로 우수한 연비성능을 얻을 수 있다.

참 고 문 헌

1. Philip G. Gott, "Changing Gears : The Development of the Automotive Transmission," SAE Historical Series, 1991.
2. 兩角岳彦, "Continuously Variable Transmission," Motor Fan, 1992年 6月號, pp.81 ~ 96.
3. E. Hendriks, "Qualitative and Quantitative Influence of a Fully Electronically Controlled CVT on Fuel Economy and Vehicle Performance," SAE Paper 930668.
4. M. Boos, R. Vorndran, "The CFT 20E Continuously Variable Transmission for Mid-Range Automotive," SAE Paper 945028.
5. E. Hendriks, P. Heegde & T. Prooijen,

- "Aspects of a Metal Pushing V-Belts for Automotive Cut Application," SAE Paper 881734.
6. T. Fujii, T. Kurokawa, S. Kanehara, "A Study of a Metal Pushing V-Belt Type CVT-Part 2 : Compression Force Between Metal Blocks and Ring Tension," SAE Paper 930667.
  7. M. Fuchino, K. Ohsono, "Development of Fully Electronic Control Metal Belt CVT," CVT '96 Yokohama Proceedings, pp.23~32.
  8. Sadayukii Hirano, "SCVT-A State of the Art Electronically Controlled Continuously Variable Transmission," SAE Paper 910410.
  9. Yasuhito Sakai, "The ECVT-Electro Continuously Variable Transmission," SAE Paper 880481.
  10. 김현수 외 4인, "전자 유압제어식 리그형 금속 벨트 CVT 설계 개발," 현대자동차 산학 연구 보고서, 1992.
  11. 김현수, 김광원, "금속 V-벨트 CVT의 동력 전달과 변속비-부하토크 관계," 대한기계학회 논문집 Vol.14, No.2, pp.349~357.
  12. 김현수 외 3인, "PWM 솔레노이드 전자 제어 리그형 CVT의 변속제어 특성 연구," 현대자동차 산학연구 보고서, 1995.
  13. 이충섭, 조희복, "승용차용 무단변속기(CVT) 개발동향," 자동차공학회지 Vol.17, No.5, pp.17~27, 1995.