
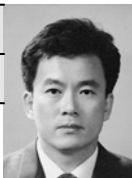
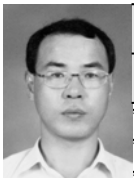



무단변속기 CVT(Continuous Variable Transmission) 연구 및 개발현황

	이 근 호 (KIMM 첨단산업기술연구부)
'84	한양대학교 기계공학과(학사)
'91	미국 Polytechnic Univ. 기계공학과(석사)
'97	미국 Univ. of Connecticut 기계공학과(박사)
'97 - 현재	한국기계연구원 선임연구원

	김 형 의 (KIMM 첨단산업기술연구부)
'78	아주공대 기계공학과(학사)
'80	한국과학원 유압제어(석사)
'82	프랑스 ISMCM 자동화공학(석사)
'85	프랑스 ISMCM 공압제어(박사)
'88 - 현재	한국기계연구원 책임연구원(그룹장)
'00 - 현재	한국기계연구원 신뢰성평가센터장

	정 동 수 (KIMM 첨단산업기술연구부)
'88	영남대학교 기계공학과(학사)
'90	영남대학교 기계공학과(석사)
'90 - 현재	한국기계연구원 선임연구원

	김 도 식 (KIMM 첨단산업기술연구부)
'90	인하대학교 자동화공학과(학사)
'92	인하대학교 기계공학과(석사)
'92 - 현재	한국기계연구원 선임연구원

1. 서 론

자동차 개발초기부터 지속적으로 추진되고 있는 차량의 성능 향상 노력은 경제적이고, 보다 빠르며, 작동이 편리하고, 유해 배출가스가 적어 환경에 친화적인 차량을 개발하는 것이었다. 이러한 도전의 일환으로 차종의 작동 특성에 따라 각종 변속기가 개발되어 왔다. 최근에 활발한 연구와 상용화 개발이 추진중인 무단변속기 CVT(Continuous Variable Transmission) 또한 차량 개발초기부터 개발되었던 변속방식이었다. 무단변속기 CVT는 작동의 편리함에도 불구하고 효율, 소음 및 내구성문제를 해결하기 위한 기술개발에서 자동변속기에 비해 상용화 개발에 뒤짐으로써, 차량의 자동변속방식은 토크컨버터를 부착한 자동변속기를 중심으로 발달해 왔다. 그러나 기술개발의 지속적인 발전에 힘입어, 유럽을 중심으로 무단변속기 CVT가 적용 가능한 차종별로 초기 개발시 문제가 되었던 낮은 효율, 소음 및 내구성문제 등을 해결하고자 하는 연구 및 개발이 있어 왔다. 특히 네덜란드 VDT사에서 개발한 V-belt는 가변 폴리사이의 미끄럼손실을 최소화하며, 동력전달이 가능하여 비교적 간단한 구조의 belt식 무단변속기 CVT의 상용화 개발에 기여하였다.^[1,2] 영국 Torotrak사^[3,4,5]에서 개발한 점착 마찰력(Traction force) 구동을 이용한 Toroidal식 무단변속기는 동력전달 효율이 높고 비교적 큰 동력을 전달할 수 있으므로 일부 차종에서 상용화되었으며, 저속에서

고토크 발전이 가능하여 군 기동장비와 건설중장비용으로 개발된 기계-유압식(Hydro-Mechanical Type) 무단변속기^{6,7)} 또한 지속적인 상용화 연구 개발이 진행 중이다. 따라서 본 논문에서는 해외 기술의 개발현황을 조사하여 향후 국내 기술개발방향 정립에 기여하고자 한다.

2. 개 요

무단변속기는 무단변속을 위한 변속기구 variator를 무엇으로 하는가에 따라 종류가 나뉘어진다. 변속기구를 벨트(belt)로 하는 경우 벨트식, 토로이달(toroidal)로 하는 경우 토로이달식, 유압 펌프 및 모터 조립체를 이용하는 경우 기계-유압식(hydro-mechanical)식으로 분류하며, 그밖에도 전기식, 순수유압식, 체인(chain)식, 토크컨버터(torque converter)식 등 다양한 무단변속기가 연구 개발되었고, 현재에도 개발 중에 있다. 그러나 벨트(belt)식, 토로이달(toroidal)식 및 기계-유압(hydro-mechanical) 식이 가장 활발하게 연구되며, 개발중인 대표적인 무단변속방식이다. 표 1은 차종별 무단변속기의 개발현황에 대하여 도식화한 것이다. 벨트식 무단변속기의 경우 승용차용에 상용화되었으며 전달토크의 한계에 따라 다른 차종에는 적용하는 것이 어려운 것으로 알려져 있다. 토

로이달식은 중형승용차용으로 상용화되었으며, SUV(Sports Utility Vehicle)차량이나 중·소형 상용차량에 적용하기 위한 개발이 진행 중이다. 그러나 유효율 개발에 대한 경제성과 내구성 확보에 어려움이 있어 일반적인 상용화 개발에는 상당한 기간이 필요한 것으로 예측되고 있다. 기계-유압식의 경우는 건설중장비, 특장차 및 농기계용으로 상용화되었으며, 유압식 variator의 고효율화 및 저소음화 기술개발에 따라 SUV차량, 버스, 중·대형 상용차량용으로 개발 중이다.

3. CVT의 특징

무단변속기는 클러치와 변속레버를 운전자가 작동할 필요가 없는 점에서 자동변속기와 작동 방식은 같다. 그러나 자동변속기가 3단, 4단 및 5단 등의 유한한 속도 단으로 한정된 속도비를 가지고 있는 반면, 무단변속기는 variator가 변속 가능한 변속비 안에서 주어진 변속 패턴에 따라 최고의 변속비와 최소의 변속비 사이를 연속적으로 변속하며 무한대의 단으로 변속시킬 수 있는 변속기이다. 주어진 변속비 안에서 무한한 변속비가 가능함으로써 여러 가지 운전환경에서도 가능한 엔진의 정격출력에 가까운 영역에서 동력 전달이 가능하다. 따라서 그림 1에서와 같이 무단변속기는 수동

표 1. 차종별 무단변속기 개발 현황

차종 \ 무단변속기 종류	무단변속기 CVT				
	벨트식	토로이달식 (toroidal)	기계-유압식 (hydro-mechanical)	전기식	순수유압식 (HST)
중·소형 승용차	◎	◎		△	
대형승용차, SUV		△	△	△	
버스			△	△	
중·소형 트럭		△	△		
대형트럭			△		△
농기계			◎		
건설중장비 및 특장차			◎		◎

생산 : ◎ 시제품개발 : △

변속기와 비교할 때 엔진의 최적운전에 따라 약 9~15 %의 연비의 향상이 가능하며, 엔진과 변속기의 통합제어를 하는 경우에는 3~10 %의 추가적인 연비향상이 가능하다.^[1,4] 또한 엔진의 최적운전에 따라 유해 배기가스의 배출이 감소하므로 공해 감소를 통한 환경 친화적인 차량개발에 필요한 변속기이다.

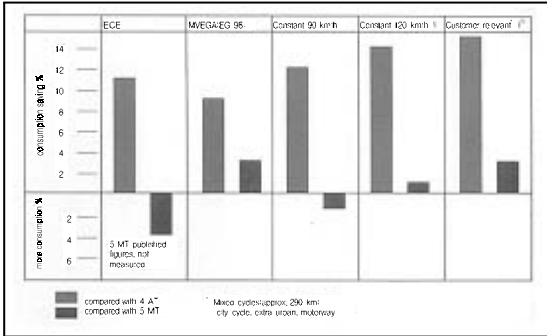


그림 1. 수동 및 자동변속기와의 연비 비교 결과

또한 그림 2에서와 같이 무단변속기를 채택한 차량의 경우 수동 및 자동변속기 장착 차량보다 가속 및 등판 능력에서 10~15 %의 성능 향상이 될 수 있다. 그리고 무단변속기는 변속충격이 없이 연속적인 가속이 가능하므로 운전자에게 보다 편리하고 안락한 주행여건을 제공할 수 있다.

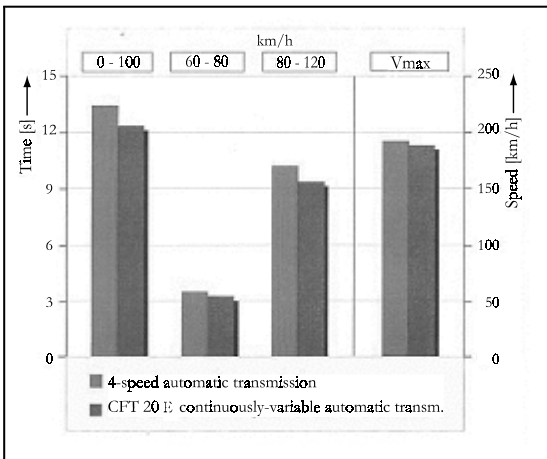


그림 2. 자동변속기와 성능비교 결과

4. CVT의 개발현황

연구 개발중인 대표적인 무단변속기인 벨트(belt)식, 토로이달(toroidal)식 및 기계-유압(hydro-mechanical)식은 각기 무단변속을 위한 variator의 특성에 따라 무단변속기가 적용 가능한 차량의 용도, 엔진마력 및 적용토크가 제한되어진다.

벨트식 무단변속기의 경우는 무단변속용 variator로 사용되는 금속 및 고무벨트가 가변 풀리와 접촉하며 동력을 전달하므로 다른 무단변속기보다 비교적 간단한 구조를 갖게되는 장점이 있는 반면, 큰 동력을 전달하는 경우 벨트와 가변 풀리 사이에서 미끄럼(slip)손실이 발생하여 경제적인 동력전달을 할 수 없는 단점을 가지고 있다. 따라서 주로 엔진동력 150마력, 2000cc 미만의 중·소형승용차에 적용 가능하다. 국내에서는 현대자동차가 금속벨트를, 대우자동차에서는 고무벨트를 채택한 무단변속기 CVT를 탑재하여 차량을 생산하고 있으며, 미국의 GM, Borg-Warner, 독일 ZF, Audi, 일본 Mitsubishi, Honda, Nissan, Daihatsu 등에서 벨트식 무단변속기 CVT를 탑재한 승용차를 생산하고 있다.^[8]

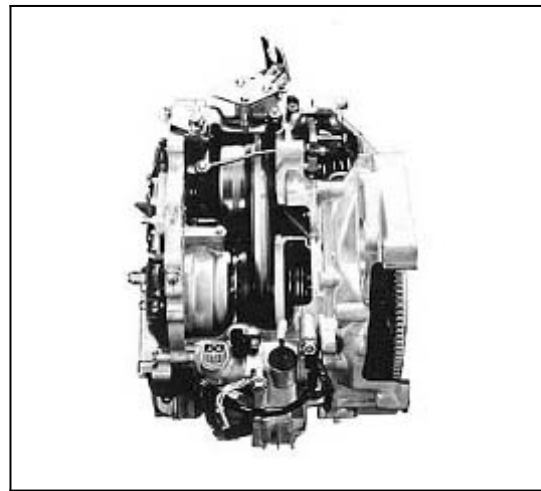


그림 3. 혼다 Multimatic CVT

토로이달식 무단변속기의 경우 무단변속용 variator로 사용되는 토로이달은 회전원판과 롤러가 접촉하며 형성된 유막의 점착 마찰력(traction force)에 의해 동력이 전달되므로 효율이 높고, 비교적 큰 동력을 전달할 수 있는 장점이 있으나, 내구성 확보에 따른 문제와 유막에 의한 점착 마찰력을 생성하기 위한 전용 윤활유가 경제적인 경쟁력을 갖기 위한 개발의 지연에 따라 활발한 상용화가 이루어지고 있지 못한 상태이다. 비교적 큰 동력을 전달 할 수 있으므로 주로 엔진동력 250마력, 4000cc 미만의 대형승용차 및 중·소형 트럭용까지 적용 가능하다. 일본 Nissan사에서 half-toroidal방식을 적용하여 승용차용으로 상용화하였으며^[9], toroidal방식을 최초로 개발한 영국의 Torotrak사에서는 full-toroidal방식으로 미국의 Ford사와 함께 상용트럭용으로 개발 중이다.

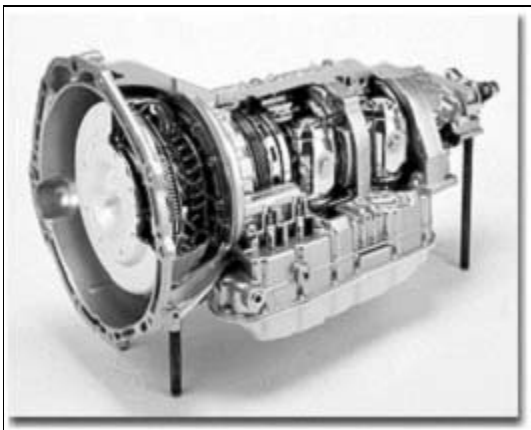


그림 4. Nissan Extroid CVT

기계-유압식 무단변속기의 경우 무단변속을 위하여 variator로 사용되는 유압 펌프/모터 조립체(HST; Hydrostatic Transmission)에서 입력되는 기계동력을 유압펌프와 모터를 통하여 유압동력으로 전환하여 출력하므로 동력을 전달하며 무단 변속한다. 따라서 variator인 유압동력전달 장치의 특성에 따라 저속에서 고토크발생과 단위 마력 당 고출력이 가능하나, 일반적으로 효율이 낮고 소음

이 심한 단점을 가지고 있다. 저속에서 고토크 출력이 가능하므로 주로 엔진동력 200마력, 4000cc 이상의 중·대형트럭, 버스, 건설중장비, 농기계 등에 적용 가능하다. 최근 유압동력장치의 단점인 비교적 낮은 효율과 소음 문제를 해결한 HST가 개발됨에 따라 SUV 및 경트럭용으로 적용하기 위한 연구가 진행중이다. 미국의 GDLS, Borg-Warner에서는 중·대형트럭 및 SUV차량용으로 개발 중이며, 독일의 ZF-steyr, Fendt, Claas에서는 농기계용으로 상용화하였으며^[1,7], 버스 및 트럭용으로 개발 중이다. 또한 일본의 Diakin, Komatsu에서는 건설중장비용으로 상용하였으며, 버스 및 대형트럭용으로 개발 중이다. 표 2는 대표적인 무단변속기에 대하여 개발시, 고려하는 주요 특징을 타입별로 상대적 비교를 한 것이다.

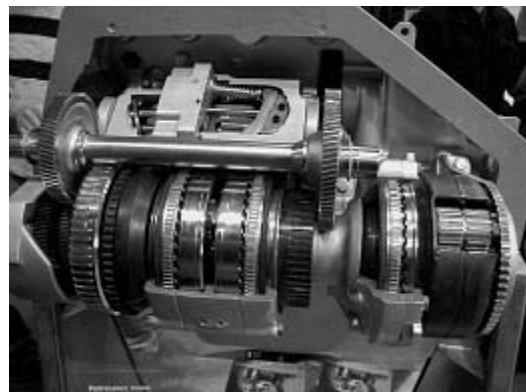


그림 5. Steyr 기계-유압식 CVT

5. CVT 시장 전망

무단변속기 CVT는 기존의 자동변속기와 비교할 때 연비와 성능 면에서 장점을 가지고 있으며, 수동변속기와 비교할 때 작동의 편리성에서 장점을 갖추고 있어 향후 자동 및 수동변속기를 대체하는 변속기로 주요 완성차량 생산업체 및 변속기 전문 생산업체 등에서 활발한 연구와 상용화 개발이 진행중이다. 특히 가장 활발한 상용화가 이루어지고 있는 벨트식 무단변속기의 경우 상용화 개발 후

초기 시장진입이 성공적으로 진행중이다. 그림 6에 나타나는 수요예측은 네덜란드 VDT사에서 자사가 세계특허로 보유중인 금속 V-belt에 대한 수요예측으로 2004년경 약 180~330만대에 장착 가능한 금속 V-belt가 팔릴 것으로 예측하고 있다.^[1] 그러나 벨트식 무단변속기가 초기 개발 후 시장진입 당시인 1990년대 중반의 희망적인 예측보다는 2000년의 시장예측은 다소 보수적으로 예측되고 있어, VDT사의 예측은 비교적 낙관적인 예측으로 볼 수 있다.

표 2. 무단변속기의 상대적 특징 비교

형식 항목	벨트식	토로이달식	기계-유압식
variator	벨트와 가변 풀리	구름접촉용 토로이달	유압 펌프/모터 (HST)
효율	고	고	중
동력전달용량	소	중	대
크기	중	대	대
무게	중	대	대
소음	중	중	대 (중, 일부 특수 HST채택 경우)
내구성	보통	불량	보통
특허회피가능성	매우 낮음	매우 낮음	낮음
부품공용화 가능성	낮음	낮음	보통
상업화	중·소형 승용차	중형승용차	건설중장비 및 농기계
개발방향	- 변속비 범위의 확대	- 윤활제 개발 - 내구성 향상 - 무게 감소	- 효율 향상 - 소음 저감 - 무게 감소

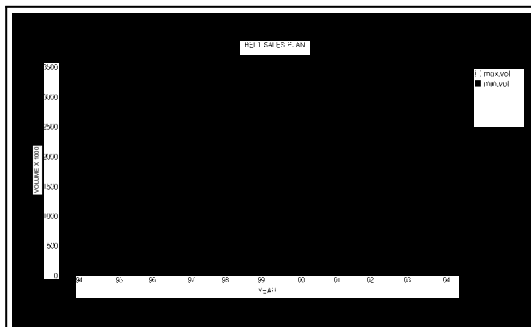


그림 6. Belt식 CVT 수요 예측

왜냐하면 승용차에 적용 가능한 벨트식 무단변속기의 경우 자동변속기시장의 대체보다는 수동변속기 시장을 대체하는 것으로 보고되고 있어, 세계에서 가장 큰 승용차 시장이며 자동변속기 장착비율이 높은 북미대륙에서 시장진입에 성공하지 못하였기 때문이다. 다만 승용차의 수동변속기 장착비율이 매우 높은 유럽과 벨트식 무단변속기 개발에 적극적인 일본에서 시장진입에 성공한 것으로 보고 있으나, 전체 시장 점유율은 시장 예측과 다소 차이가 있는 것으로 보고되고 있다.

무단변속기의 시장이 개발초기의 예상과 같이 획기적인 시장점유를 못하는 원인으로서는 첫 번째로 기존의 자동변속기의 기술발전이 활발히 추진되고 있으며 연비향상과 성능이 개선되고 있어 자동변속기에서 무단변속기로의 대체를 어렵게 하는 것이다. 두 번째로 현재 세계적으로 자동차 생산능력이 포화 상태에 있어, 각국의 주요 차량 생산업체에서 초기 투자비용이 높은 무단변속기의 대량 생산체계를 갖추는데 주저하고 있기 때문이다. 세 번째로 비교적 간단한 구조를 갖는 벨트식 무단변속기의 경우 개발시에는 자동변속기보다 구조가 간단하여 생산 원가를 낮출 수 있을 것으로 예측하였으나, 현재까지는 무단변속기의 생산원가가 자동변속기에 비하여 오히려 높기 때문이다.

그리고 토로이달식 무단변속기의 경우 현재 상용화에 성공한 회사가 일본의 Nissan 1개 사로 보고되고 있고, 가격 또한 기존의 수동 및 자동 변속기와 비교할 때 매우 고가로, 현재 경쟁력을 갖추었다고 보기 어려운 상황으로 단기간에 시장진입이 어렵다고 예상하고 있다. 기계-유압식 무단변속기의 경우 건설중장비, 특장차 및 농기계용으로 상용화되었으며, 작업을 위주로 하는 차량의 자동화 경향에 따라 지속적인 성장이 있을 것으로 예측하고 있으나, 상용차 및 승용차용으로의 개발 및 상용화에는 이 또한 단기간에 시장진입이 어렵다고 예상하고 있다.^[7,9]

6. 결 론

무단변속기의 향후 장기 시장 전망은 매우 밝게 예측하고 있다. 그림 7은 변속기 전문생산업체인 독일의 ZF사에서 향후 2030년까지 변속기 종류별 수요에 대하여 예측한 것이다.^[10] 2010년 이후로 무단변속기와 전기식으로 구동되는 하이브리드차량(Hybrid Vehicle)의 수요가 증가하여, 2030년경에는 자동변속기, 무단변속기 및 하이브리드차량(Hybrid Vehicle)이 주요 수요로 예측하고 있다. 따라서 무단변속기가 여러 가지 장점이 있음에도 불구하고 현재에는 상용화에 따른 시장 수요가 적지만, 향후 지속적인 기술발전과 시장환경이 수요를 확대시킬 것으로 예측되고 있다. 따라서 향후 국제경쟁력을 갖춘 차량 개발경쟁에서 뒤지지 않기 위하여, 차량의 주요변속장치로 예측되는 무단변속기 CVT의 원천기술에 대한 연구 및 기술개발이 체계적으로 이루어져야 할 것이다.

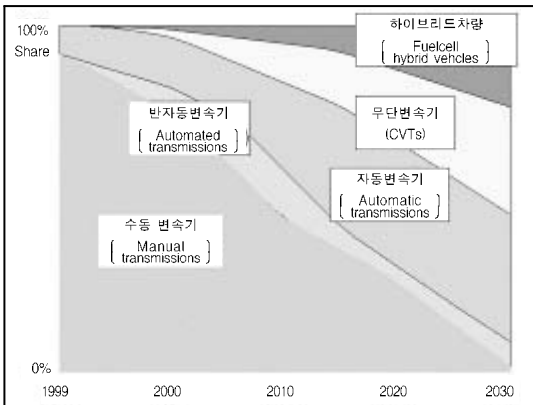


그림 7. 변속기 종류별 수요 예측

참 고 문 헌

- [1] ZF 기술보고서, "CVT Technology & Market", 1997-
- [2] Cardiff Engineering 기술자료, "Traction Drive Technology", 2000
- [3] Torotrak 기술보고서, "Torotrak IVT", 2001
- [4] AutoZine Technical School 자료, "CVT Transmission", 2000
- [5] PLINT & Partner 기술자료, "TE 73 HIGH SPEED TWO ROLLER MACHINE", 2000
- [6] H. Mitsuya, K. Otani, "Development of Hydro-mechanical Transmission(HMT) fo Bulldozers", SAE 941722, 1994
- [7] G. Wontner, "Development of New Gene ration of CVT", Future Technology od Po wer Transmission System International Symposium, 2000
- [8] Honda 기술자료, "CVT Technology", 2000
- [9] S. Hirano, A. L. Miller, "SCVT-A State of the Art Electronically Controlled Continuously Variable Transmission" SAE 910410, 1993
- [10] P. Michael, " CVTs Driving the Future of Transmission Technology", Proceeding of International Congress on Continuously Variable Power CVT-99 Sep., 1999