

CVT의 변속제어

김현수¹⁾, 김광원 · 김성호 · 성덕환²⁾, 은탁³⁾, 박성현 · 양진승 · 권혁빈⁴⁾

Shifting Ratio Control of CVT

Hyun-Soo Kim, Kwang-Won Kim · Sung-Ho Kim · Duk-Hwan Sung,
Tak Eun, Seong-Hyon Park · Jin-Seung Yang · Hyuk-Bin Kwon



김현수



김광원



김성호



성덕환



은탁



박성현



양진승



권혁빈

1. 머리말

차세대 자동차는 높은 동력성과 저연비 특성이 요구되며 아울러 배기가스와 소음의 감소 등 환경오염에 대한 규제를 만족시켜야 한다.

CVT(Continuously Variable Transmission)는 기존의 3~5단의 제한된 변속비만을 갖고 있는 수동변속기나 자동변속기와는 달리 무한대의 변속비를 가지고 연속적인 변속

이 가능하기 때문에 주어진 변속범위 내에서 엔진속도를 독립적으로 제어할 수 있고 따라서 엔진의 운전상태를 최대 동력성능 또는 최대 연비 및 최저 배기가스 상태로 유지할 수 있다.^(1~9) CVT는 이외에도 자동변속기에 비해 부품수가 상대적으로 적으며, 자동으로 변속이 이루어지므로 운전이 편리하고, 기어 변속에 의한 추진력변동이 없어 운전의 쾌적성을 얻을 수 있는 등 많은 장점을 가지고 있다. 이와 같은 CVT의 장점은 엔진이 최적상태로 운전될 수 있도록 CVT의 변속비를 적절히 제어하여야만 얻을 수 있다. CVT의 변속비제어는 운전자의 의도를 충분히 반영하여 최대가속성능 또는 최저연비를 얻을 수 있도록 수행되어야 하며 이를 위하

- 1) 성균관대 기계공학과
- 2) 성균관대 대학원
- 3) 생산기술연구원
- 4) 현대자동차

여는 적절한 변속 알고리즘의 개발과 이를 실현할 수 있는 제어시스템의 개발이 필수적이다.⁽¹⁰⁻¹⁵⁾

지금까지 발표된 CVT 장착 차량으로는 Justy(Subaru), March(Nissan), Uno(Fiat), Cultus(Suzuki), Escort(Ford) 등이 있으며 구미 및 일본의 자동차 각사는 경쟁성있는 완성품 개발을 위하여 치열한 연구 개발 경쟁을 벌이고 있다. 국내의 CVT에 대한 연구 개발상태는 자동차 3사가 CVT의 탑재 가능성을 신중히 검토하고 있는 단계이며 자동차 각사가 자체개발, 또는 국외 CVT 전문제작사와의 공동개발 등을 추진하고 있다.

이 글에서는 CVT에 대한 필자의 연구결과⁽¹⁶⁻²⁰⁾를 바탕으로 CVT에 대한 변속알고리즘과 변속알고리즘에 의한 CVT차량의 주행특성을 고찰하고 실제 변속비제어 결과를 전자유압제어식 리그형 CVT 시스템에 적용하여 고전적인 PID 제어와 변속시스템의 불확실성을 극복할 수 있는 퍼지(Fuzzy)제어기법에 의한 CVT 변속비 제어 결과를 검토해 보기로 한다.

2. 변속 알고리즘

CVT의 변속 알고리즘은 차량의 성능과 연비 향상을 이룰 수 있도록 설정되어야 한다. 그림 1에 P-모드선도(PWL: power mode line)와 E-모드선도(ECL: economy mode line)가 도시되어 있다.^(16,17) PWL은 구동과워 등고선을 연결하는 최단거리로 설정하였다. 각 드로틀 개도에 대하여 드로틀 선도와 PWL이 교차하는 점에서 엔진이 작동한다면 엔진은 최대동력상태를 유지할 수 있으며 CVT의 변속비는 엔진이 각 드로틀 개도에 대하여 PWL에 머물러 있도록 제어되어야 한다. ECL은 엔진이 공회전 상태에서 운전 시작하여 BSFC(Brake Specific Fuel Consumption) 등고선을 최단거리로 연

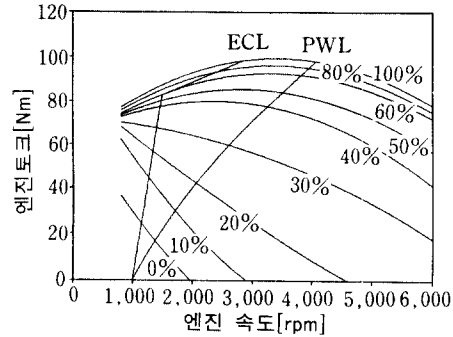


그림 1 드로틀 개도에 대한 PWL과 ECL

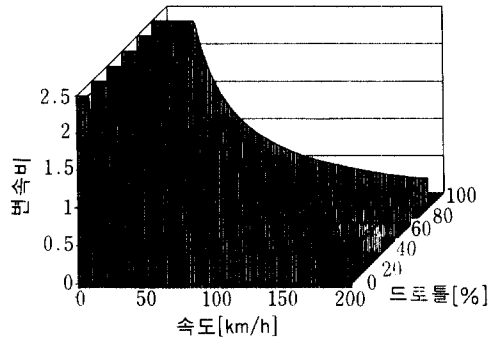


그림 2 E-모드 변속비 선도

결하도록 작성되었다. 각 드로틀 개도에 대하여 드로틀 선도와 ECL이 교차하는 점에서 엔진이 작동한다면 엔진은 최소연비상태를 유지할 수 있다. 그리고 이를 위하여 CVT의 변속비는 엔진이 각 드로틀 개도에 대하여 ECL에 머물러 있도록 제어되어야 한다.

드로틀 개도가 주어지면 최대동력성능과 최소연비를 위한 엔진속도는 PWL과 ECL이 각 드로틀 개도와 교차하는 점에서 하나만 존재하게 되고, 차량속도에 대하여 이 엔진속도에서 엔진이 작동하는데 필요한 변속비도 하나만이 존재한다. 드로틀 개도와 차량속도에 대하여 구한 E-모드의 변속비가 그림 2에 3차원 그래프로 도시되어 있다.

3. CVT차량 주행특성 시뮬레이션

CVT 차량의 각 주행모드에 대하여 제안

된 변속 알고리즘에 대하여 엔진-토크컨버터-CVT 구동계에 대한 주행 시뮬레이션을 수행하고 차량성능을 고찰한다. 운전조건으로는 WOT(Wide Open Throttle)와 임의의 주행상태에 대하여 엔진의 운전상태, 연비, 가속성, 변속비응답 등 차량응답특성을 4단 AT와 비교평가한다.

3.1 P-모드 시뮬레이션

그림 3과 그림 4는 P-모드에서 WOT 운전시 CVT차량과 AT차량의 시뮬레이션 결과를 비교 도시한 것이다. 그림 3은 엔진속도의 변화를 도시한 것이다. CVT의 엔진속도는 4748 rpm까지 증가하였다가 연속적으로 감소하며 4020 rpm에서 정상상태를 유지하고 있다. AT는 엔진속도 5695 rpm에서 1차변속이 일어나 거의 수직으로 3246 rpm까

지 떨어지고 변속비는 1단 2.846에서 2단 1.581로 바뀐다. 변속시 엔진속도가 거의 수직으로 떨어지는 것은 토크 컨버터의 동특성을 고려하지 않았기 때문이다. AT는 시뮬레이션에 사용된 변속패턴에 따라 2차 및 3차 변속이 이루어지고 엔진속도는 4단인 상태로 계속 증가한다.

그림 4는 차량속도 변화를 도시한 것이다. 10.5초까지 CVT차량의 속도는 AT차량의 속도보다 빠르나 최종변속비의 차이로 인하여 정상상태 속도는 AT차량이 약간 크게 나타나고 있다.

3.2 E-모드 시뮬레이션

그림 5부터 그림 7까지는 E-모드에서 CVT차량과 AT차량이 그림 6의 주행조건곡선을 따라 운전될 때의 시뮬레이션 결과이

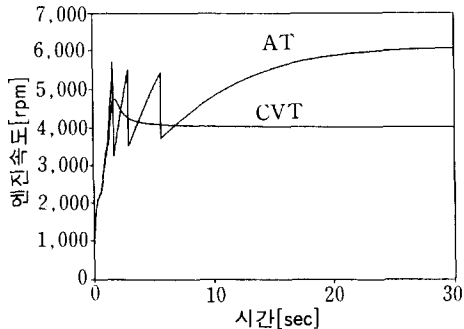


그림 3 WOT에서 P-모드의 엔진속도

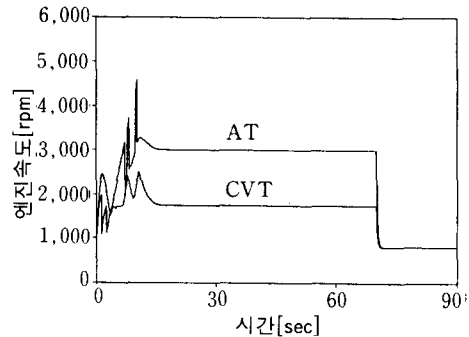


그림 5 E-모드의 엔진응답

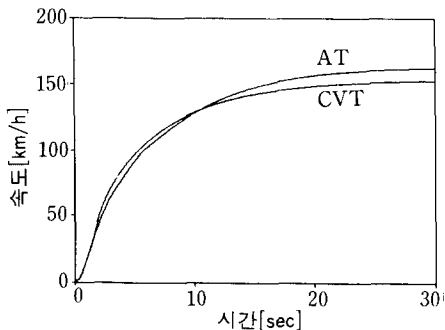


그림 4 WOT에서 P-모드의 차속

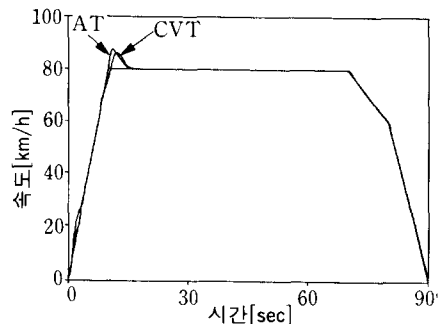


그림 6 E-모드 주행선도와 차속응답

다. 그림 5는 엔진속도의 변화를 도시한 것이다. CVT의 경우 엔진속도가 공회전 상태인 800 rpm에서 출발하여 2500 rpm 미만으로 작동하고 있으며 AT의 경우 엔진속도가 변속과 함께 수직변화를 보이고 있으며 정상 상태에서 CVT보다 높은 3000 rpm을 유지하고 있다.

그림 6은 주행조건과 차량속도 변화를 도시한 것이다. CVT차량과 AT차량 모두 주행조건을 잘 따르고 있다. 두 경우 모두 80 km/h 도달 후 오버슈트가 나타나고 있으며 CVT차량은 AT차량보다 오버슈트가 약간 작게 나타나고 있다.

그림 7은 연비선도를 도시한 것이다. 90초 동안의 E-모드 시뮬레이션에 대한 연비는 CVT가 18.9l km/l, AT가 14.35 km/l이며 CVT의 경우 AT보다 연비가 31.8% 더 우수하다.

그림 3부터 그림 7까지에서 알 수 있듯이 CVT차량은 AT차량에 비하여 연비성능이 우수하지만 가속성능이 약간 열세이다. CVT의 가속성능 향상을 위해서는 변속알고리즘의 변경과 변속범위의 확대가 필요하다. 변속범위를 확대하는 경우 초기변속비 증가는 가속성능을 크게 향상시키지만 CVT에 작용하는 부하증가로 CVT 수명단축의 원인이 된다. 이와 같은 문제를 해결하기 위하여 동력을 여러 경로로 전달하는 Multi-pass

CVT System에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다.^(21~24)

4. 제어 알고리즘

그림 8에 금속벨트 CVT가 도시되어 있다. 금속벨트 CVT는 금속벨트와 구동 및 종동풀리로 구성되어 있으며 양 풀리는 각각 축에 고정된 고정플랜지와 축방향 이동이 가능한 이동플랜지로 구성되어 있다. 금속벨트 CVT의 역학에 대하여는 참고문헌(25, 26)에 상세히 나와있다. 금속벨트 CVT의 무단 변속기능은 구동 및 종동풀리의 벨트 회전피치반경을 연속적으로 변화시켜 얻어지고 벨트 회전반경의 변화는 구동 및 종동풀리의 이동 플랜지에 가해지는 축력에 의하여 제어된다. 따라서 변속비와 토크에 해당하는 적절한 축력의 제어는 CVT 차량 최적운전의 핵심이며, CVT 제어기는 차량의 주행조건이 변하더라도 항상 엔진이 최적운전곡선을 따라 운전되도록 CVT 변속비를 적절히 제어하여야 한다.

CVT 최적운전을 위하여 그림 9와 같은 CVT 차량의 제어 블록 선도를 제시하였다.^(18,19) 그림 9에서 최적운전곡선으로는 앞에서 제시된 P-모드의 PWL 또는 E-모드의 ECL이 사용될 수 있다. 이 글에서는 변속비제어 실험시 엔진 시뮬레이터(Engine Simulator)

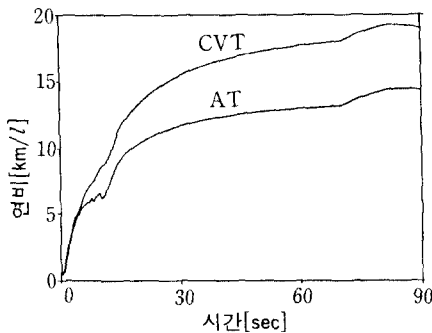


그림 7 E-모드의 연비

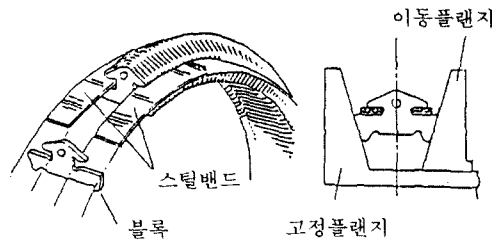


그림 8 금속벨트 CVT

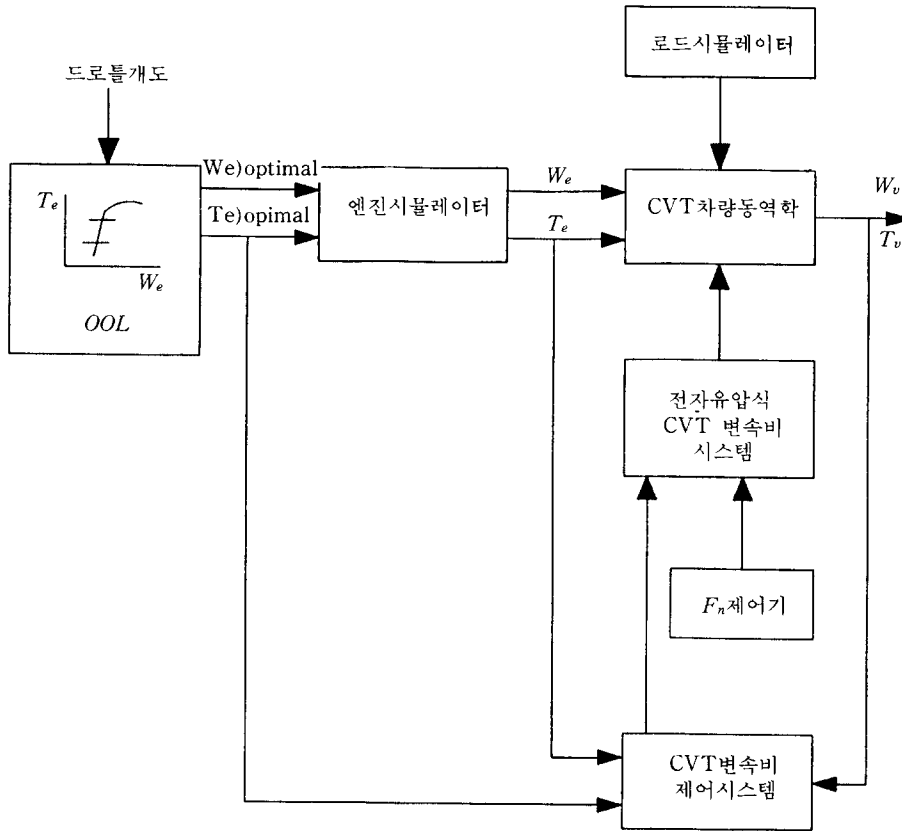


그림 9 CVT 시스템의 제어블럭선도

로 사용된 모터의 특성을 고려하여 가로 및 세로축 좌표를 토크 T 와 회전속도 ω 로 표시된 엔진 시뮬레이터 특성 곡선상에 그림 10과 같은 임의의 최적곡선을 OOL(Optimal Operation Line)로 표시하였다. 그림 9에서 OOL은 TCU (Transmission Control Unit)에 기억되어 있다. CVT 변속비 제어 시스템(CVT Speed Ratio Control System)은 OOL로부터 현재의 드로틀에 대한 최적 엔진속도($\omega_{e^{optimal}}$)를 전달받고, 엔진 시뮬레이터로부터 실제 엔진속도(ω_e)와 현재차량속도(ω_v)를 측정하여 CVT 변속비 제어를 위한 구동축 축력을 변화시킨다. 구동축 축력에 의한 변속비 제어는 엔진 시뮬레이터가 항상 최적인전곡선상에서 운전되도록 수행된

다. 이때 구동 및 종동축력은 차량구동계의 전체 효율을 고려할 때 금속벨트와 폴리 사이에서 미끄럼이 일어나기 직전의 축력으로

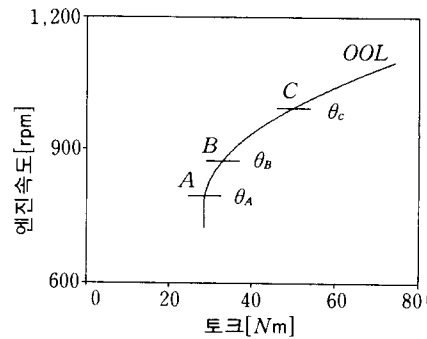


그림 10 엔진시뮬레이터의 최적인전곡선

구동되는 것이 바람직하다.^(25,26) CVT의 변속비는 구동 및 종동축에 임의의 축력을 가해 제어할 수 있으나 너무 작은 축력은 벨트와 풀리 사이의 미끄럼에 의하여 변속비 제어를 불가능하게 하고 마모와 열을 발생시켜 벨트수명을 단축시킨다. 한편 너무 큰 축력은 미끄럼을 방지할 수 있지만 큰 축력발생을 위한 유압시스템의 동력소모로 CVT 차량의 효율을 감소시키는 원인이 된다. 또한 과도한 축력은 금속벨트에 과도한 장력을 발생시켜 벨트수명을 급격히 감소시킨다.

5. 실험

실험은 다음과 같은 두 가지의 변속비 변화 요인을 발생시켜 각 경우에 대한 CVT 최적운전 제어 성능을 평가하는 방식으로 진행하였다.

① 엔진 모사장치의 드로틀이 일정하게 고정된 상태에서 주행저항 모사장치를 제어하여 주행저항을 증가시킨 경우.

② 엔진 모사 장치의 드로틀 개도 증가에 따른 가속주행운전.

①의 일정 드로틀운전에서는 그림 10의 임의의 드로틀 개도 θ_g 와 OOL은 고유한 한점에서 만나고 드로틀 개도 변화가 없다면 어떤 주행조건하에서도 엔진은 이 점에서 운전되어야 한다. ②의 가속 주행운전시 드로틀 개도는 θ_A 에서 θ_C 로 변화고 엔진은 드로틀 개도 θ_A 와 θ_C 사이에서 OOL을 따라 운전되어야 한다.

전 연구를 통하여 설계된 CVT 운용 및 제어 소프트웨어 CVTCON⁽¹⁹⁾을 이용하여 전자유압제어 CVT 시스템의 성능시험을 수행한 결과가 그림 11와 그림 12에 도시되어 있다.

그림 11은 드로틀 개도를 변화시킨 가속운전시 변속비 응답을 도시한 것이다. 드로틀 개도가 증가되면 Desired CVT Ratio Generator는 현재의 드로틀 개도에 대한 최적

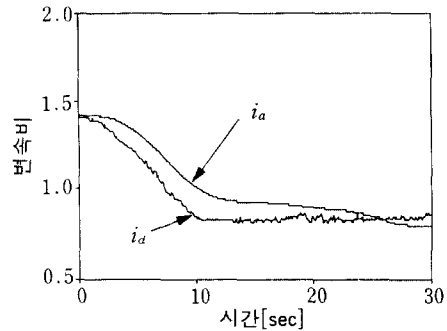


그림 11 PID 제어시 최적 변속비와 실제 변속비 응답

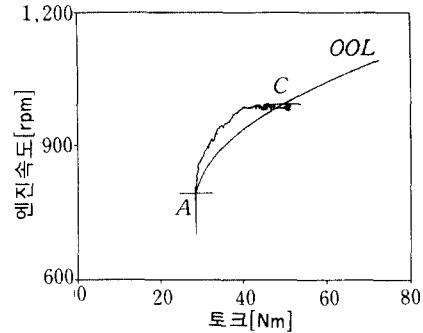


그림 12 PID 제어시 OOL과 엔진운전점 비교

엔진토크와 증가된 개도에 대한 토크의 비 $T_{(load)}/T_{e(op)}$ 를 구하여 최적 변속비를 계산한다. 이 때 $T_{(load)}/T_{e(op)}$ 에서 $T_{e(op)}$ 가 증가하였으므로 최적 변속비는 감소한다. 그림 11은 최적변속비(i_d)가 감소함에 따라 CVT의 제어가 이루어져 실제 변속비가 최적변속비를 따라가는 것을 보여준다.

드로틀 개도 변화 운전시 엔진의 운전상태 변화와 최적 운전곡선을 비교한 선도가 그림 12에 도시되어 있다. 선도에 표시된 바와 같이 엔진의 운전상태가 최초의 드로틀 개도에 대한 최적운전점인 A점에서 변화된 드로틀의 최적운전점인 C점으로 옮겨가 항상 최적 운전상태를 유지한다.

엔진의 최적운전은 차량이 최고연비곡선(Best Fuel Economy Line) 또는 최대동력

곡선(Maximum Power Line)을 따라 주행할 수 있다는 것을 의미하며 따라서 CVT의 변속비 제어는 차량의 연비 및 가속능력의 획기적인 향상을 가능케 한다.

6. 변속비 퍼지(Fuzzy)제어

앞서 언급한 CVT의 장점은 엔진이 운전자의 의도에 따라 최대 동력성능 또는 최고 연비성능 등의 운전모드에서 각 모드에 대한 최적 운전곡선상에서 운전될 수 있도록 CVT의 변속비 제어를 할 때 얻을 수 있다. 현재까지 실용화된 CVT는 비교적 단순한 제어 알고리즘을 채택하고 있기 때문에 소비자의 요구를 충분히 만족시키지 못하고 있는 실정이다. 따라서 최근에는 운전자의 의도를 충분히 반영할 수 있는 보다 복잡한 제어 알고리즘과 제어 시스템이 연구되고 있으며^(28,29) 이를 위해서는 CVT 시스템의 보다 정확한 수학적 모델이 요구되고 있다.

현재까지 개발된 CVT 변속제어 시스템은 대부분 기계-유압식 또는 전자 유압식 제어 방식을 채택하고 있다.^(6,11) 이러한 유압제어식 CVT 시스템은 비선형 특성을 가지고 있으며 보통은 작동구간에서 선형화시킨 모델을 기준으로 제어를 설계하고 있으나 만일

이 작동구간이 변경되면 유압시스템의 성능과 안정성은 매우 불확실하게 된다.⁽³⁰⁾ 뿐만 아니라 CVT의 변속메카니즘 또한 비선형성이 있어 쉽게 수학적 모델을 구하기가 어렵다.⁽³¹⁾

본문에서는 이와 같은 CVT 변속메카니즘 및 유압시스템의 비선형성과 수학적 모델의 불확실성을 극복할 수 있는 제어기법으로서 최근 활발한 연구가 진행되고 있고 특히 비선형성을 지닌 시스템 제어에 비교적 좋은 성능을 보이고 있는 것으로 알려진 퍼지 제어이론을 CVT 변속비제어에 적용한 연구사례⁽²⁰⁾를 소개한다. 퍼지제어는 인간의 언어적인 사고과정의 애매성(fuzziness)을 이용한 제어방식으로 전문가의 지식이나 경험을 퍼지집합으로 표현하고 언어적으로 규칙화시켜 직접 제어기에 부여할 수 있다. 그래서 시스템이 매우 복잡하여 수학적 모델링이 어려운 시스템일지라도 전문가의 지식과 적당한 튜닝으로 제어가 가능하다는 장점이 있어 각종 시스템의 제어에 그 적용이 확대되고 있다.

그림 13은 CVT 변속비 퍼지제어를 위한 블록선도를 나타내고 있다. 그림 13에서 퍼지제어기(Fuzzy controller)의 입력변수는 최적변속비 i_d 와 실제변속비 i_a 의 차인 오차 E와 오차의 변화량 CE(Change of Error)이

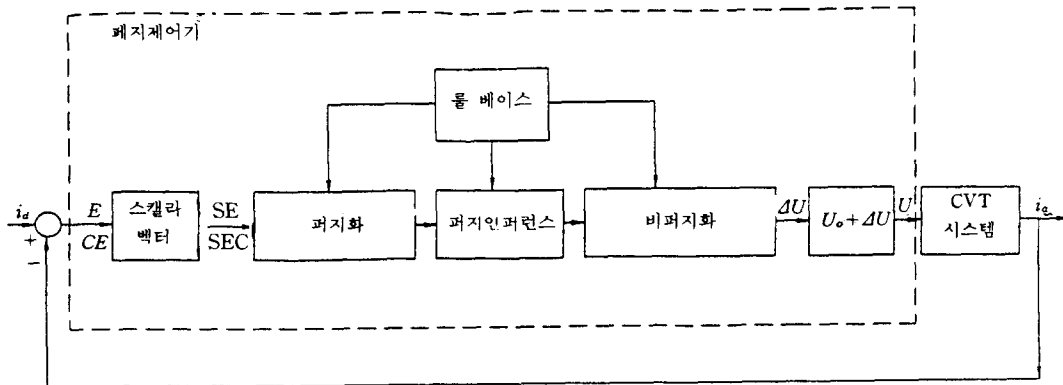


그림 13 변속비 퍼지제어 블록선도

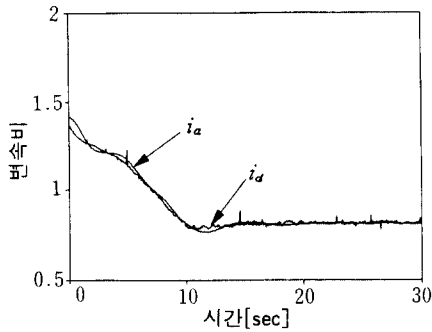


그림 14 퍼지제어시 최적변속비와 실제변속비 응답.

고 출력변수는 전자 유압 서보의 입력전압 U 이다. CVT 시스템은 입력전압 U 에 해당하는 구동축력에 의해서 새로운 변속비를 형성하여 변속비 제어가 연속적으로 수행된다.

퍼지제어기의 주요 구성은 다음의 4부분으로 구분할 수 있다.

- ① 시스템에서 검출해 온 실수값(E, CE)을 언어적인 값으로 변환시켜주는 퍼지화(Fuzzification) 과정.
- ② CVT 시스템에 대한 전문가의 지식과 시스템의 성질을 규칙화시켜 저장하는 규칙베이스(rule base).
- ③ 조작량 ΔU 의 출력 퍼지집합을 얻는 퍼지추론부(Fuzzy inference).
- ④ 추론된 퍼지집합을 제어입력(Control input)의 증가량 ΔU 로 변환시키는 비퍼지화(Defuzzification) 과정.

그림 14는 퍼지제어에 의한 가속운전시 변속비 제어 결과이다.⁽²⁰⁾ 가속운전시 PID제어 결과(그림 11)는 최적변속비가 감소하는 도중 항상 오차를 가지고 있으나 퍼지제어일 경우(그림 14)에는 빠른 응답특성을 보이면서 잘 제어되고 있다. 실제 차량의 CVT 변속 시스템은 변속메카니즘 등 불확실한 설계 변수가 많기 때문에 이와 같은 불확실성을 극복할 수 있는 퍼지제어가 큰 장점이 있다고 생각된다.

7. 맺음말

이상으로 CVT의 변속알고리즘과 주행특성, 최적변속비 구현을 위한 제어알고리즘에 대하여 필자의 연구결과를 중심으로 살펴보았다.

환경오염과 차량 성능향상에 따라서 날로 강화되는 연비규제는 차량용 변속기로서 CVT 양상보급에 대한 필요를 앞당기고 있다. CVT는 소형차를 중심으로 일부 자동차 메이커에 의해 이미 실용화되어 있으며 일본 및 구미 자동차 각 사는 CVT에 대한 자체 기술을 보유하고 경쟁성 있는 완성품 개발을 위하여 총력을 기울이고 있는 실정이다.

CVT에 대한 연구개발의 추세는 동력전달 구동요소의 특성에 따라 벨트식과 토로이달(Torodial)식으로 구분할 수 있으며 대부분의 경우 현재 일부 실용화 개발된 벨트식 CVT가 기술완성도가 높은 반면 토로이달 롤러의 각도를 연속적으로 변환시킴으로써 무단변속을 이루는 토로이달 방식은 2000년대 이후에 양산을 목표로 일본 및 영국 등에서 개발 진행중이나 새로운 재질과 제어기술 개발 등의 숙제를 안고 있다.

벨트식의 경우 금속벨트는 지난 십 수년 이상 시행착오를 겪으며 CVT용으로 개발된 전문업체의 제품이 이미 특허화되어 있기 때문에 자동차 각사는 벨트와 같은 구동요소보다는 CVT 메카니즘 설계 및 제어시스템 개발에 기술력을 투입하고 있다. 따라서 국내 CVT 개발도 이와 같은 추세를 따를 것으로 기대되고 있으나 AT와 같은 완성품으로서의 상품가치를 갖기 위하여는 CVT에 대한 보다 많은 연구개발이 필요하다고 생각된다.

참고문헌

- (1) Christenson, B. C., Frank, A. A., Beachley, N. H., 1976, "The Fuel-Sa-

- ving Potential of Cars with Continuously Variable Transmissions and an Optimal Control Algorithm," ASME, 75-WA/Aut-20.
- (2) SAE Special Publication, 1987, "Continuously Variable Transmissions for Passenger Cars," SAE/PT-87/30, ISBN 0-89883-118-0.
- (3) Hahn, B. R., 1991, "Transmission Engineering for Passenger Cars," Proceedings of International Conference on Motion and Power Transmissions, Hiroshima, pp. 474~479.
- (4) Hedman, A., 1991, "Application of Variable-Ratio Transmission in Fast Boat," International Conference on Motion and Power Transmissions, pp. 468~473.
- (5) Tanaka, H., Ishihara, T., 1984, "Electro-Hydraulic Digital Control of Cone-Roller Toroidal Traction Drive Automatic Power Transmission," ASME Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control, Vol. 106, pp. 305~310.
- (6) Sakai, Y., 1988, "The 'ECVT' Electro Continuously Variable Transmission," SAE 880481.
- (7) Goering, C. E., Gui, X. Q., Buck, N. L., 1989, "Improving Fuel Economy by Computer Control of a Diesel Engine and Transmission," SAE 891838.
- (8) Purgart, J. H., Donoghue, J. F., 1980, "Minimum Fuel Control of a Vehicle with a Continuously Variable Transmission," Final Technical Report, NASA Grant No. NSG 3223.
- (9) Höhn, B. R., 1988, "The Potential and Advantages of Continuously Variable Transmissions for Automotive Application", SAE 885063.
- (10) Schneider, H. D., 1986, "Dynamisches Verhalten Eines CVT-Kettengeriebes," Ford-Werke Aktiengesellschaft, 865145, pp. 2,407~2,410.
- (11) Falzoni, G. L., 1984, "The Unomatic Transmission," SAE 841307.
- (12) Bart, J., Runge, W., 1990, "Continuously Variable Transmission KWG15," SAE 905087.
- (13) Chan, C., Omitsu, T., Breitweiser, D., Frank, A., Jamzadeh, F. S., 1984, "System Design and Control Consideration of Automotive Continuously Variable Transmissions," SAE 840048.
- (14) Kinzel, G. L., Srinivasan, K., Houser, D. R., Mattern, D. L., 1982, "Microprocessor Controlled Continuously Variable Rubber V-Belt Transmission for an Automobile," Passenger Car Meeting, SAE 820745, pp. 137~145.
- (15) Yang, D. and Frank, A., 1985, "On the Use of Engine Modulation for Deceleration Control of Continuously Variable Transmission Vehicles," SAE 850490.
- (16) 성덕환, 김현수, 1993, "CVT의 변속 알고리즘과 응답특성," 대한기계학회 춘계학술대회논문집.
- (17) 김광원, 권혁빈, 김현수, 은탁, 박찬일, 1992, "무단변속기(CVT) 차량의 응답특성," 한국자동차공학회지, Vol. 14, pp. 99~109, SAE 923711.
- (18) 김광원, 권혁빈, 김현수, 은탁, 박찬일, 1992, "전자유압식 리그형 CVT 개발과 최적 운전," 대한기계학회 추계학술대회논문집.
- (19) 권혁빈, 김광원, 김현수, 은탁, 박찬일, 1993, "전자유압식 CVT의 운용 및 제어 소프트웨어 개발과 실시간 제어," 한국자동차공학회지, Vol. 15, pp. 36~46, SAE 933720.

- (20) 김성호, 김광원, 김현수, 은택, 1993, "전자 유압식 리그형 CVT의 변속비 퍼지제어," 대한기계학회 춘계학술대회논문집.
- (21) Stockton, T. R., 1984, "The Ford Research Dual Mode Continuously Variable Transmission," SAE 841305.
- (22) Beachley, N. H., Anscomb, C., Burrows, C. R., 1984, "Evaluation of Split-Path Extended Range Continuously-Variable Transmissions for Automotive Applications," Journal of the Franklin Institute, Vol. 317, No. 4, pp. 235~262.
- (23) Schneider, K. F., Anderson, S. R, 1990, "Multi-Pass Continuously Variable Transmission," SAE 905088.
- (24) Vahabzadeh, H., Macey, J. P., Dittrich, O., 1990, "A Split-Torque, Geared-Neutral Infinitely Variable Transmission Mechanism," SAE 905089.
- (25) 김현수, 이재신, 1991, "금속 V-벨트 CVT의 벨트거동 해석," 대한기계학회논문집, Vol. 15, pp. 557~566.
- (26) 김현수, 김광원, 1990, "금속 V-벨트 CVT의 동력전달과 변속비-부하토크-축력 관계," 대한기계학회논문집, Vol. 11, No. 2, pp. 349~357.
- (27) Staffel, H., 1984, "Digital Simulation of a Hydraulic Control System," Ford-Werke AG, Federal Republic of Germany, ISATA 84004.
- (28) Hirano, S., 1991, "SCVT-A State of the Art Electronically Controlled Continuously Variable Transmission," SAE 910410.
- (29) Seidel, W., Petersmann, J., Hickmann, U. and Möllerd, W., 1992, "Adaptive Control System for Continuously Variable Transmission," SAE 925062.
- (30) 김천호, 조형석, 1993, "유압서보 시스템을 위한 뉴로-퍼지 제어기 설계," 대한기계학회논문집, Vol. 17, pp. 101~111.
- (31) Memorandum between Sung Kyun Kwan University and P.I.V. Antrieb Werner Reimers, 1992. ■