

하이브리드 승용차용 전자식 무단변속기의 개발

Development of Electronically Controlled CVT for Hybrid Passenger Car

최 득 환*
D.H. Choi

ABSTRACT

In this paper, the details of electronically controlled CVT is described, which Kia Motor company recently developed in prototype form for hybrid passenger car. This transmission has two input shafts, one for engine and the other for traction motor. The shaft for traction motor is located at rear side which is extended from primary pulley shaft and connected to traction motor through adapter gear box. Adopting two input system, various driving mode is available such as motor alone driving in hybrid vehicle application. As far as electrohydraulic system concerned, this transmission uses two bleed type variable force solenoids for line pressure and ratio control, and one on-off solenoid for clutch control. Another feature for this transmission is that oil pump for transmission is separate from CVT for supplying oil pressure even at vehicle standstill.

주요기술용어 : Hybrid Vehicle(하이브리드 차량), CVT(무단변속기), Traction Motor(구동모터), VFS(가변력 솔레노이드), Hydraulic Module(유압 모듈)

1. 서 론

일반적으로 하이브리드 차량의 동력 시스템을 구성하는 방식에는 직렬방식(series type)과 병렬방식(parallel type) 및 이 양자의 혼합방식¹⁾ 등이 있으며 각 방식들은 나름대로의 장단점을 보유하고 있다. 이 중 병렬방식은 구동모터(traction motor)의 최대 출력을 타 방식에 비하여 낮게 설정할 수 있기 때문에 모터 및 인버터

(inverter) 그리고 배터리의 용량 및 크기가 작아지는 장점이 있다. 따라서 탑재 공간에 많은 제약을 갖는 승용차의 경우 병렬방식의 하이브리드 차량을 구성하는 것이 매우 유력한 방법이다.

병렬방식의 하이브리드 차량에서 연료소비율 및 배기가스를 최소화시키기 위하여는 엔진과 구동모터의 효율이 최대가 되는 작동점에서 운전을 유지시켜야 되기 때문에 변속비가 일정 값을 갖는 유단 방식의 변속기보다는 임의의 변속비를 얻을 수 있는 무단 방식의 변속기, 즉 무단변속기를 동력전달장치로 채택하는 것이 유리하다. 또한 하이브리드 차량에서 무단변속기를 사용할 경

* 정회원, 기아자동차

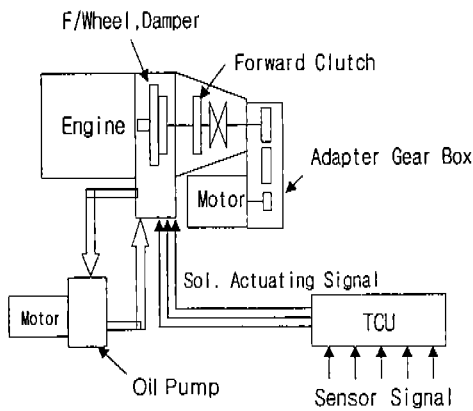


Fig. 1 Schematic Drawing of Hybrid Power-train

우에는 토크 컨버터(torque converter)를 채용하지 않는 방식을 사용하는 것이 보편적이므로 변속기 자체의 효율 및 탑재성에서도 기존의 자동 변속기보다 유리하게 된다. 이러한 장점 때문에 병렬형 하이브리드 차량에서는 무단변속기를 동력전달장치로 사용하는 것이 보편화된 개념으로 알려지고 있다.

본 논문에서는 최근 기아자동차에서 하이브리드 승용차를 개발하는 과정에서 시작품으로써 개발한 하이브리드 승용차용 전자식 무단변속기에 관하여 기술코자 한다. 본 무단변속기는 기존의 무단변속기를 활용하여 개작한 것으로써 구동모터로부터의 동력을 별도로 입력할 수 있는 양방향 입력방식을 채택한 특징이 있고 하이브리드 차량에 적합한 전자식 유압제어계 및 그에 따른 제어모드 또는 제어전략을 적용하였다.

2. 동력 시스템의 구성

Fig. 1은 무단변속기를 동력전달장치로 사용하여 구성한 하이브리드 동력시스템의 구성도, 즉 무단변속기와 엔진 그리고 구동모터의 상호 결합 방법 및 주변부품과의 상호관계를 나타내는 개략도이다. 그림에서 보듯이 이 시스템은 무단변속

기를 중심으로 그 좌우측에 엔진과 구동모터를 연결하여 엔진과 구동모터의 동력이 경우에 따라 독립적으로 변속기를 통하여 차량바퀴에 전달되거나 또는 동시에 이 2가지의 동력이 결합되어 전달될 수 있게 하였다. 엔진과 변속기와의 접촉은 무단변속기 내부에 위치한 전진 클러치를 통하여 이루어지며 구동모터는 변속기의 풀리축과 직결되어 있으므로 구동모터의 동력이 직접 변속기로 전달된다. 엔진과 변속기와의 연결방법은 기존의 연결방법과 동일하고 구동모터와 변속기의 경우에는 구동풀리의 연장축을 어댑터 기어박스(adapter gear box)를 통하여 구동모터와 연결하는 방식을 채택하였다.

이상과 같이 무단변속기를 중심으로 엔진과 구동모터의 양방향 입력방식을 채택함으로써 본 시스템은 엔진과 구동모터를 단순 직렬로 연결한 시스템에 비하여 다양한 모드의 운전을 실현할 수 있고 경우에 따라 엔진의 아이들링(Idling)을 제거할 수 있으므로 교통정체가 심한 도심 주행에서 큰 장점을 갖게 된다. Table 1은 엔진과 구동모터 그리고 클러치의 작동 상태를 운전조건별로 나타낸 것이다.

Table 1 Operation Element for Each Driving Mode

vehicle mode	range	engine	motor	clutch	remark	
motor mode	all range	off	on	off		
engine mode	P,N	on	off	off		
	R	on	on	off		
	D,L	on	off or charging	on		
hybrid mode	P,N	off	off	off(on)		
		off	on	off		
	D,L	low speed	off	on	off	
		above medium speed	on	on,off, charging	on	
		coasting	off	off	on	high SOC
	charging mode(internal mode)	on	charging	off(on at L)	low SOC	

표에서 알 수 있듯이 차량이 정지하여 있을 경우에는 엔진의 시동이 꺼져있고 차량은 초기에 구동모터의 동력만으로 주행한다. 일정 속도에 도달하면 무단변속기의 클러치가 접속하여 엔진의 시동이 걸리게 되고 이후에는 엔진과 구동모터의 동력이 동시에 변속기를 통하여 바퀴에 전달 가능하다.

본 시스템의 또 다른 특징은 변속기의 오일펌프를 외장형으로 채택한 것이다. 이것은 차량이 정지하여 있거나 구동모터만의 주행상태에서 무단변속기에 작동유압을 제공하기 위하여 채택한 방법이다. 즉 기존의 변속기에서는 엔진이 시동이 켜진 상태에서 항상 변속기에 내장된 오일펌프가 엔진의 회전력에 의하여 작동하지만 본 시스템에서는 엔진이 완전 정지되는 모드가 존재하므로 이 상태에서 변속기에 작동유압을 공급하기 위하여 외장형의 오일펌프가 요구된다. 이제 본 무단변속기를 구성하는 부품 중 급변 개발과 관련된 주요 부품들에 관하여 간략히 기술한다.

무단변속기 본체

본 개발에서 무단변속기의 본체는 VCST사의 기존 양산품인 VT-1 기종을 유용하였다. 하지만 이 기종은 순수 유압제어 방식이고 양방향 입력 방식이 아니기 때문에 하이브리드 차량에 적용하기 위하여 본 연구에서는 전자제어가 가능하도록 전자식 유압모듈을 개발하여 변속기 본체에 부착하였고 양방향 입력이 가능하도록 케이스의 일부를 개조하여 구동모터와 연결이 가능하도록 하였다. Fig. 2는 개조가 완성된 무단변속기의 본체 모습이다. 이 그림에서 보는 바와 같이 구동모터를 연결하기 위하여 폴리축으로부터 연장된 축이 변속기 후방에 돌출 되어 있다.

어댑터 기어 박스

이 부품은 구동모터를 폴리축과 병렬 형태로 연결시켜 줌으로써 엔진 룸 내의 공간 활용성을 높여주기 위하여 별도로 제작한 부품이다. Fig. 3은 이 부품의 외형을 보여준다. 이 부품의 내부에

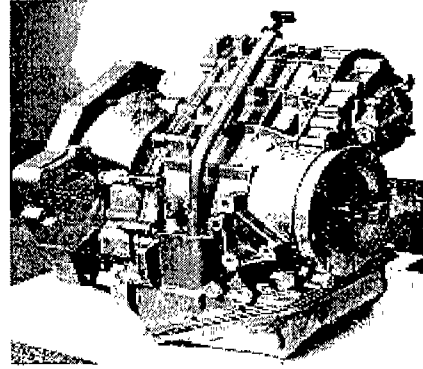


Fig. 2 Outside View of Modified CVT

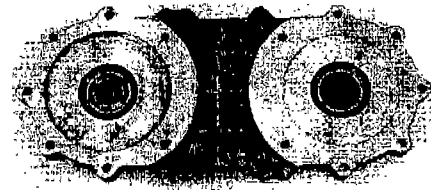


Fig. 3 Adapter Gear Box

는 3개의 기어가 설치되어 있으며 각각 입력, 출력 그리고 아이들 기어의 역할을 수행한다. 입력과 출력기어의 기어비는 구동모터의 최대 회전속도를 고려하여 1 : 1.25로 설정하였다.

오일펌프 및 펌프용 모터

앞에서 언급한 바와 같이 본 무단변속기에는 외장형 오일펌프를 사용한다. 즉 별도의 모터로써 오일펌프를 작동시키는 방식을 채택하였다. 오일펌프는 자동차용 파워 스티어링에 사용되는 사양을 유용하였으며 베인(vane) 방식으로 토출량은 8.5 cc/rev 이다. 한편 펌프용 모터로는 정격출력 400W의 DC모터를 사용하였다. 이렇게 외장형 오일펌프를 사용하게 되면 부품의 수가 증가하는 단점이 발생하지만 적절한 유량을 항상 유지시킬 수 있기 때문에 기존의 변속기에 비하여 연비 면에서 유리하다.

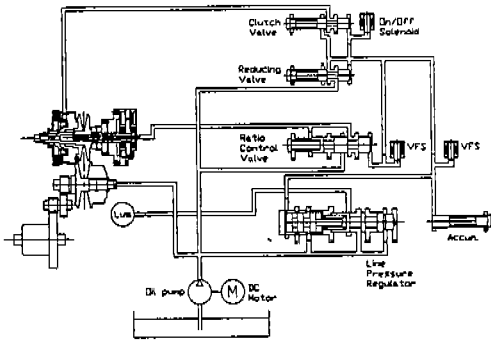


Fig. 4 Hydraulic Circuit of CVT

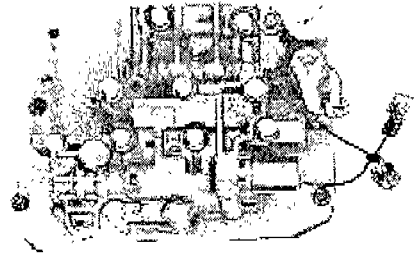


Fig. 5 Hydraulic Module

3. 전자제어 유압시스템

Fig. 4는 본 무단변속기의 유압모듈에 적용한 유압 회로도이다. 유압 회로는 크게 3 부분으로 구성되어 있는데 라인압력을 생성하는 라인압력 제어계와 변속비 제어계 그리고 클러치의 접속을 제어하는 클러치 제어계가 그것이다. 각각의 제어계는 전자제어가 가능한 솔레노이드(solenoid) 밸브와 이 솔레노이드에 의하여 2차적으로 기능을 수행하는 스푼 밸브(spool valve)들로 구성되어 있다. 한편 기존의 승용차용 무단변속기와 달리 본 시스템에는 매뉴얼 밸브(manual valve)를 사용하지 않는다. 이것은 구동모터를 역회전하여 차량의 후진이 수행되기 때문이다. 본 연구에서는 이상의 유압회로도에 따라 유압모듈을 제작하여 적용하였다. Fig. 5는 본 무단변속기에 적용한 유압모듈의 외형이다.

각 유압제어계를 좀 더 상세히 설명하면 라인압력 제어계는 레귤레이터(regulator)와 감압밸브(reducing valve) 그리고 어큐뮬레이터와 블리드 방식의 가변력 솔레노이드(Variable Force Solenoid: VFS)로 구성된다. 이 구조는 F4E-K형 자동변속기²⁾에 적용한 라인압력 제어계와 유사한 방식이다. 본 개발에서 사용한 가변력 솔레노이드는 R. Bosch사 제품으로 Fig. 6은 이 솔레노이드의 구조 및 적용방법³⁾을 보여준다.

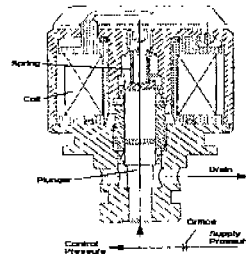


Fig. 6 Bleed Type Variable Force Solenoid(VFS)

라인압력 제어계의 작동은 VFS에 의하여 생성된 드로틀 압력(throttle pressure)이 레귤레이터 밸브에 작용하여 최종 라인압력이 생성되는 방식이다. 이때 감압밸브는 VFS에 공급되는 압력을 일정 값으로 유지시키는 역할을 수행하고 어큐뮬레이터는 드로틀 압력의 맥동을 저감시키는 역할을 한다. 라인압력은 중동폴리 실린더에 직접 작용한다.

다음 변속비 제어계는 라인압력제어계에서 사용한 것과 동일 사양의 VFS와 변속비 제어밸브로써 구성된다. 변속비 제어밸브는 감압밸브 형태를 갖고 입력 압력인 라인압력을 VFS에 의하여 형성된 피플릿트 압력에 비례한 압력 값으로 낮추는 기능을 수행한다. 이 밸브의 통과 유량은 구동폴리 측에 작용하는데 구동폴리 측에 작용하는 압력, 즉 폴리 축력을 제어함으로써 변속

비를 제어코자 하는 것이 본 개발품에서 채택하고 있는 변속비 제어 유압 시스템의 기본 방안이다. 물론 변속비의 변화는 궁극적으로 폴리 실린더로 유입되는 유량에 의하여 발생한다. 따라서 유량제어 밸브를 사용하여 변속비를 제어하여도 무방할 것이다. 그러나 유량을 정밀히 제어할 수 있는 밸브는 대부분 고가이기 때문에 변속기에 사용하기에는 부적절⁴⁾하다.

클러치 제어계는 클러치 밸브와 여단음 솔레노이드(on-off solenoid)로 구성되며 여단음 밸브의 상태에 따라 클러치 밸브가 유로를 전환함으로써 클러치의 단속을 수행한다. 이 방법은 기존 자동변속기에서 단 변속을 수행하는 방법과 동일한 방법이다.

4. 제어전략

앞에서 기술한 전자제어 유압제어계의 각 제어계를 작동시키기 위하여는 제어전략의 수립이 필요하다. 이러한 제어전략은 차량의 운전과 관련한 상위 개념의 전략과 무단변속기 자체의 작동성과 관련한 하위 개념의 전략으로 구분⁵⁾할 수 있다. 본 논문에서는 상위와 하위의 제어전략 중 무단변속기의 작동과 직접 관련한 하위 개념의 제어전략만을 다루기로 한다.

먼저 라인압력 제어계의 경우에는 기본적으로 개루프(open loop) 제어전략을 본 개발품에서는 채택하였다. 이것은 주어진 운전조건에 따라서 필요 압력값을 생성시킬 수 있는 솔레노이드 입력 듀티(duty) 값을 맵(map) 형태로써 변속기 제어기(TCU)에 저장하고 이 값을 솔레노이드에 인가함으로써 원하는 라인압력을 얻는 방식을 의미한다. 즉 피드백(feedback)을 사용하지 않는 방식이다. 이 방식은 정밀한 압력제어에는 불리하나 압력센서를 사용하지 않기 때문에 경제적이다. 개루프 제어전략을 채택할 경우에 발생하는 문제점 중에서 작동 오일의 온도 변화에 따라 라인압력이 변화하는 문제가 가장 심각한 현상이라 할 수 있다. 따라서 오일의 온도에 따른 라인압력

의 보상을 실시하는 것이 개루프 방식에서는 필요하다. 물론 이러한 보상값은 온도에 따른 라인압력 실험을 통하여 얻게 된다. Fig. 7은 본 개발품에 적용코자 하는 개루프 라인압력 제어전략의 개략도이다.

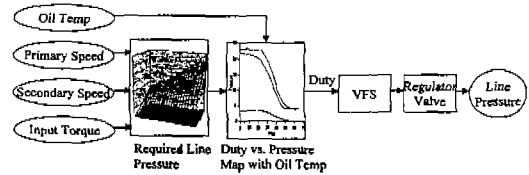


Fig. 7 Schematic Diagram of Line Pressure Control Strategy

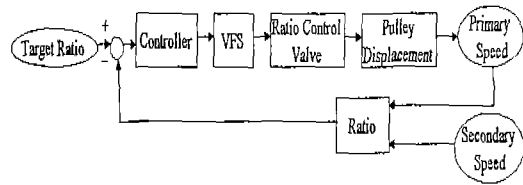


Fig. 8 Schematic Diagram of Ratio Control Strategy

Fig. 8은 변속비 제어전략의 개략도으로써 여기에서 보듯이 변속비의 제어는 입력 회전속도, 즉 엔진 또는 구동모터의 회전속도와 출력 회전속도인 종동풀리 회전속도를 측정하여 현재의 변속비를 산정하고 기 설정된 목표 변속비와의 비교를 통하여 원하는 변속비를 얻는 폐루프(closed loop) 제어전략을 채택한다. 이러한 폐루프 제어를 사용하기 때문에 변속비 제어계에는 적절한 제어기(controller)를 설계하여 사용하는 것이 요구된다. 물론 제어기의 사양은 여러 가지의 형태를 가질수 있으며 기본적으로 제어기의 설계를 위하여는 대상이 되는 변속비 제어계의 특성이 파악되어야 할 것이다. 즉 변속비 제어용 솔레노이드 입력에 대한 변속비의 응답특성, 다시 말하여 개루프 특성을 파악하고 이에 따라 제어기의

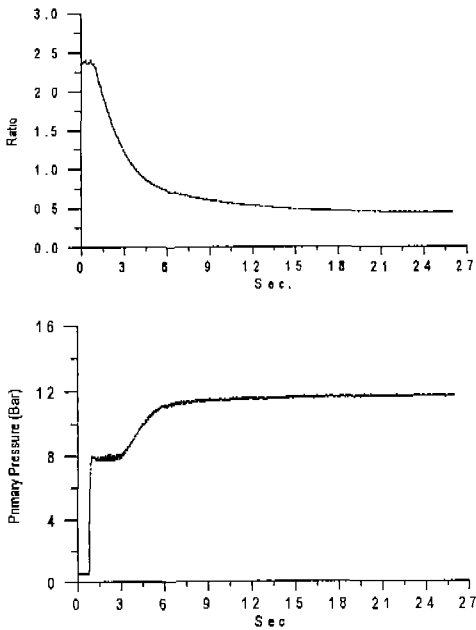


Fig. 9 Test Results of Upshift Response

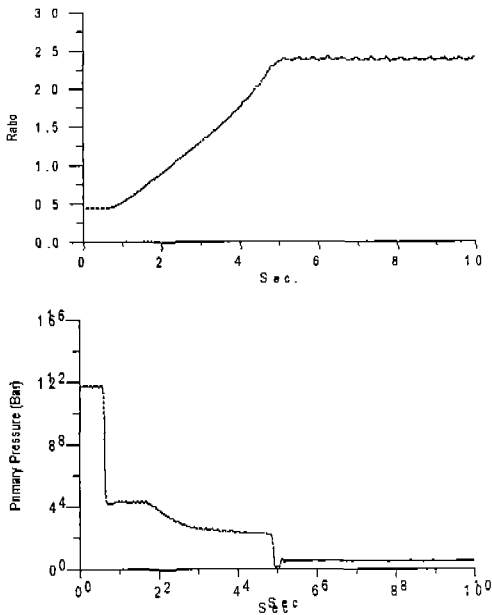


Fig. 10 Test Results of Downshift Response

사양을 결정하면 된다. 이러한 변속비의 개루프 특성은 실험 또는 해석적 방법에 의하여 구할 수 있다.

클러치의 제어는 여닫음 솔레노이드의 제어으로써 이루어지기 때문에 클러치의 단속만을 고려하면 매우 간단하게 수행할 수 있다. 즉 주어진 변속 패턴에 따라서 여닫음 솔레노이드에 스위치 신호(on-off signal)를 인가하면 된다. 그러나 클러치를 점속하거나 단속할 경우에는 구동력의 변화에 따른 쇼크 발생이 수반되므로 이 문제에 대한 고려가 필요하다. 본 개발에서는 변속기 자체에서 쇼크를 저감시키는 방법 대신에 구동모터의 제어를 통하여 쇼크를 저감시키는 방법을 채택하였다.

5. 변속성능 실험

완성된 변속기 시작품의 성능을 검증하기 위하여 본 연구에서는 무부하 모터링 장치를 이용하여 변속성능에 관련한 실험을 실시하였다. 실험은 입력축의 회전속도와 중동폴리압력, 즉 라인압력을 일정한 값으로 고정한 상태에서 변속압력 제어 솔레노이드에 스텝 입력을 가함으로써 솔레노이드 입력에 대한 변속비 및 변속압력의 변화를 측정코자 하였다. Fig. 9와 Fig. 10은 입력회전속도가 2000rpm 이고 중동폴리압력이 15bar 인 상태에서 상단 변속(upshift) 및 하단 변속(down shift)시의 변속비 및 변속압력의 시간응답 결과이다.

이 실험 결과에 의하면 상단변속의 경우 변속비의 변화가 초기에는 급격하나 점차 완만하여지고 최종적으로 변속비가 약 0.5 이하인 구간에서는 매우 완만하게 된다. 이러한 결과는 타 연구결과와 동일한 경향⁶⁾을 보여주는 것이다. 변속속도(ratio changing speed)가 고단 영역에서 작아지는 이유는 구동폴리에서 벨트가 위치한 반경이 커짐에 따라 반경방향의 유효마찰계수 값이 증가하여 변속을 발생시키기 위한 필요축력이 증가하기 때문인 것으로 추정된다. 한편 구동폴리

축의 압력변화를 보면 변속초기에는 폴리 실린더의 급격한 이동에 따라 일정 값에서 정체 후 완만한 상승을 하고 이후 폴리 실린더의 이동 속도가 완만한 상태에서는 최대 압력값을 유지한다.

하단변속의 경우에는 상단변속에 비하여 변속속도가 전반적으로 큰 값을 갖는다. 이것은 상단변속시에는 구동폴리와 중동폴리에 각각 축력이 작용하지만 하단변속시에는 구동폴리의 축력은 미미하고 중동폴리에만 축력이 작용하기 때문이다. 즉 변속비 변화율이 구동 및 중동폴리에 작용하는 축력의 합에 반비례함을 보여준다⁷⁾. 한편 이 경우에는 상단변속과 달리 변속속도가 전구간에 걸쳐 거의 균일함을 볼 수 있다. 하단변속시의 폴리 실린더의 압력은 앞에서와 같이 폴리 실린더의 이동에 의하여 실린더에 배출압력이 형성되므로 정체 및 완만한 하강구간을 갖는다.

이상의 실험결과를 실차의 운전조건으로 환산하면 Fig. 9는 동력상태의 상단변속(power on upshift)에 해당하고 Fig. 10은 동력상태의 하단변속(power on downshift)에 해당한다. 일반적으로 동력상태의 상단변속은 차량의 속도가 증가함에 따라 이루어지므로 변속비 변화율이 완만하게 된다. 한편 동력상태의 하단변속은 구동력을 증가시키기 위하여 강제적으로 발생시키므로 변속비의 변화가 빨라야 한다. 이러한 관점으로 볼 때 본 실험의 결과는 차량조건과 부합한다고 볼 수 있다.

6. 결 론

본 논문은 하이브리드 승용차용으로 개발한 전자제어방식의 무단변속기에 관한 내용으로써 본 무단변속기에는 엔진과 구동모터의 동력을 각각 독립적으로 전달하거나 동시에 2가지 동력을 전달할 수 있는 양방향 입력방식 및 차량이 정지시에도 무단변속기에 작동유압을 제공할 수 있는 오일펌프 외장방식이 적용되었고 하이브리드 차량에 적합한 전자제어 유압 시스템이 개발 적용되었다.

제작이 완료된 변속기 시작품의 변속실험을 실시한 결과 제어입력에 대하여 원활하게 변속기능이 수행되었고 변속비 변화에 따라서 변속속도가 변화함을 확인 할 수 있었다. 실차 운전 조건으로 환산할 경우 본 개발품의 변속성능은 문제가 없을 것으로 보여진다.

참 고 문 헌

1. K. Yamaguchi, S. Moroto, K.Kobayashi, M. Kawamoto and Y.Miyaishi, "Development of a New Hybrid System-Dual System", SAE Paper 960231.
2. 기아자동차, SEPHIA II 정비지침서, pp42-9, 1997.
3. Kurt Neuffer, Kurt Engelsdorf, Werner Brehm, "Electronic Transmission Control From Stand Alone Components to Mechatronnic Systems", SAE Paper 960430.
4. 佛圓 哲朗, 上山 繁, "自動車における油壓比例弁の應用", 油空壓技術 第 33卷 第 5号, pp64-68, 1994.
5. 송한림, 김정철, 김현수, "라인압력제어 전자화 CVT 차량의 응답특성", 한국자동차공학회 논문집 제 6권 제 2호, pp.191-202, 1998.
6. K. Sato, R. Sakakiyama, H. Nakamura, "Development of electronically controlled CVT system equipped with CVTip", Proceedings of the International Conference on Continuously Variable Power Transmissions, pp53-58, 1996.
7. 전재원, 김현수, "금속벨트 CVT 변속과도특성-실험적 연구", 한국자동차공학회 추계학술대회논문집, pp.1057-1062, 1997.