

# 동력순환형과 동력분류형을 구현 가능한 복합형 무단변속기

최상훈\*, 김연수†

(논문접수일 2005. 5. 24, 심사완료일 2005. 7. 11)

## Compound CVT realizing Power Circulation Mode and Power Split Mode

Sang-Hoon Choi\*, Yeon-Su Kim†

### Abstract

We designed the compound CVT(Continuously Variable Transmissions) by combining power circulation mode and power split mode, which have been proposed for connecting 2K-H I differential gear to the V- belt type CVU (Continuously Variable Unit), as an input coupled type. With the designed compound CVT, we carried out theoretical analysis and performance experiments for efficiency, speed ratio, power flow, and power transmission ratio. We proved that the compound CVT had a better performance than either of the power circulation mode or power split mode.

**Key Words** : CVT(Continuously Variable Transmission), Differential Gear, Power-Circulation Mode, Power-Split Mode, Compound CVT, Efficiency

## 1. 서 론

무단변속기는 속도비를 연속적으로 변화시킬 수 있고, 자동차에 적용될 경우 엔진속도를 차량속도와 독립적으로 제어함으로써 동력성과 연료소비 감소를 동시에 만족시킬 수 있는 장점을 가지고 있다. 무단변속기구는 다양한 종류가 개발되어 사용되고 있으나, 이들 대부분은 자체적으로 중립(gear neutral)을 구현할 수 없거나, 효율과 수명 측면에서 기존의 기어 변속기보다 불리한 단점을 가지고 있다<sup>(1,2)</sup>. 저자들은 V-벨트식 무단변속기구에 2K-H I형식, 2K-H II형

식, K-H-V형 차동기어를 각각 입력축 연결방식과 출력축 연결방식으로 결합시켜 여러 개의 동력순였다. 또한 이들에 대해 각각 효율, 동력흐름, 무단변속기구의 동력분담률, 차동기어의 동력분담률, 속도비에 대한 이론식들을 유도하였다<sup>(3~8)</sup>. 한편, 동력분류형 무단변속기와 동력순환형 무단변속기를 서로 결합시켜 성능을 향상시키는 복합형 무단변속기에 대한 다양한 연구가 진행되고 있다. 그러나 이들 대부분은 별도의 체인구동장치를 추가해야 하거나, 여러 개의 무단변속기구들을 동시에 사용해야 하는 단점을 가지고 있다<sup>(9~12)</sup>. 최근에 저자들은 선행된 연구<sup>(3~8)</sup>를 이용하여 체인구

\* 건국대학교 기계항공공학부 (shchoi@konkuk.ac.kr)

주소 : 143-701 서울시 광진구 화양동 1번지

† 한국철도기술연구원, 경량전철연구팀

동장치나 무단변속기구가 별도로 요구되지 않고, 1개의 V-벨트식 무단변속기구에 1개의 차동기어를 결합시킨 형태의 복합형 무단변속기 메커니즘을 제안하였다<sup>(5,6,8)</sup>.

본 논문에서는 V-벨트식 무단변속기구에 2K-H I형식 차동기어를 입력축 연결방식으로 연결하여 제안되었던 동력순환형과 동력분류형을 서로 결합시켜, 복합형 무단변속기를 설계하고 제작하였다. 또한 설계된 복합형 무단변속기의 효율, 속도비, 동력흐름, 무단변속기구의 동력분담률, 차동기어의 동력분담률에 대해 이론적인 해석과 성능실험을 병행하여, 설계된 복합형 무단변속기의 성능향상과 설계의 타당성을 검증하였다.

## 2. 동력분류형과 동력순환형 기본구성

저자들의 선행된 연구에서 V-벨트식 무단변속기구와 2K-H I형식 차동기어를 연결하여 제안되었던 24가지 무단변속기들 중에서, V-벨트식 무단변속기구가 출력축과 직접 연결되는 출력축 연결방식 무단변속기들은 복합형 무단변속기로 활용될 수 없었다. 따라서 본 논문에서는 V-벨트식 무단변속기구가 입력축과 직접 연결되는 입력축 연결방식 무단변속기들 중에서, Fig. 1과 2에서와 같이 복합형 무단변속기로 활용될 경우 구조가 가장 단순한 동력순환형과 동력분류형을 기본구성으로 이용하여 복합형 무단변속기를 설계하였다. 동력순환형과 동력분류형은 동일한 구조이지만, 아이들기어  $f$ 의 유무에 따라 동력흐름의 유형이 변화한다.

Fig. 1, 2와 같은 기본구성들에 대해 동력분류형과 동력순환형의 판정기준, 속도비( $i$ ), 효율( $\eta$ ), 입력동력( $P_i$ )에 대한 무단변속기구의 동력분담률( $P_{cu}/P_i$ ), 입력동력( $P_i$ )에 대한 차동기어의 동력분담률( $P_{dif}/P_i$ )의 이론식들은 Table 1, 2와 같다. 여기서  $D_1, D_2$ 는 가변풀리의 회전 유효직경이고,  $z_{a1}, z_{b1}, z_{e1}, z_{g1}, z_{a2}, z_{b2}, z_{e2}, z_{g2}, z_f$ 는 기어  $a_1, b_1, e_1, g_1, a_2, b_2, e_2, g_2, f$ 의 잇수이다.  $\eta_0$ 은 무단변속기구의

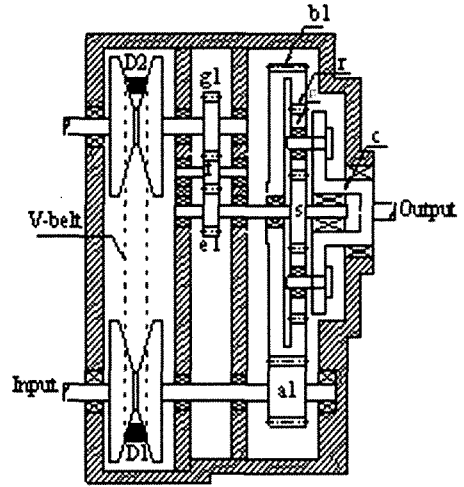


Fig. 1 Power circulation mode of the input coupled type

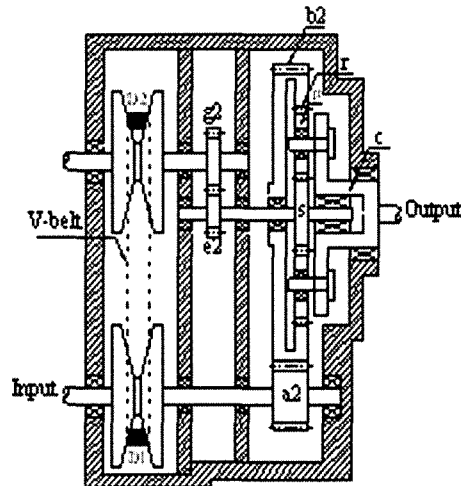


Fig. 2 Power split mode of the input coupled type

Table 1 Design equations for the power circulation mode

equivalent relations( $i_{eq}$ )	criteria of power flow direction	speed ratios( $i$ )	overall efficiencies of CVT ( $\eta$ )	power ratio of CVU( $P_{cu}/P_i$ )	power ratio of differential gear unit( $P_{dif}/P_i$ )	power flow mode
$\frac{D_1 z_{g1} z_{b1}}{D_2 z_{e1} z_{a1}}$	$i_{eq} > i_0$	$\frac{i_{eq} - i_0}{1 + i_0} \frac{z_{b1}}{z_{a1}}$	$\frac{\eta_0 (1 + \eta_0 i_0)(i_{eq} - i_0)}{(1 + i_0)(i_{eq} - \eta_0 \eta_0' i_0)}$	$\frac{\eta_0' i_{eq}}{i_{eq} - \eta_0 \eta_0' i_0}$	$\frac{\eta_0 \eta_0' i_0}{i_{eq} - \eta_0 \eta_0' i_0}$	positive circulation
	$i_{eq} < i_0$	$-\frac{i_0 - i_{eq}}{1 + i_0} \frac{z_{a1}}{z_{b1}}$	$\frac{(\eta_0 + i_0)(i_0 - i_{eq})}{(1 + i_0)(i_0 - \eta_0 \eta_0' i_{eq})}$	$\frac{\eta_0 i_{eq}}{i_0 - \eta_0 \eta_0' i_{eq}}$	$\frac{i_0}{i_0 - \eta_0 \eta_0' i_{eq}}$	negative circulation

Table 2 Design equations for the power split mode

speed ratios( <i>i</i> )	overall efficiencies of CVT( $\eta$ )	power ratio of CVU( $P_{CVU}/P_i$ )	power ratio of differential gear unit( $P_{diff}/P_i$ )
$\frac{i_0 + i_{eq} z_{a2}}{1 + i_0 z_{b2}}$	$\frac{\eta_0'(\eta_0 + i_0)(1 + \eta_0 i_0)(i_0 + i_{eq})}{(1 + i_0)\{(1 + \eta_0 i_0)i_0\eta_0' + (\eta_0 + i_0)i_{eq}\}}$	$\frac{\eta_0' i_{eq}(\eta_0 + i_0)}{\{(1 + \eta_0 i_0)i_0\eta_0' + (\eta_0 + i_0)i_{eq}\}}$	$\frac{\eta_0' i_0(1 + \eta_0 i_0)}{\{(1 + \eta_0 i_0)i_0\eta_0' + (\eta_0 + i_0)i_{eq}\}}$

효율과 각종 기어열의 효율의 곱으로 정의된다. 따라서 아이들 기어 *f*가 있는 Fig. 1과 같은 동력순환형은 식 (1)을 이용하여  $\eta_0'$ 을 계산하였고, 아이들 기어 *f*가 없는 Fig. 2와 같은 동력분류형은 식 (2)를 이용하여  $\eta_0'$ 을 계산하였다. 식 (1)에서  $\eta_{cvu}$ 는 V-벨트식 무단변속기구의 효율,  $\eta_{a1b1}$ 는 기어 *a*<sub>1</sub>와 *b*<sub>1</sub>기어 사이의 효율,  $\eta_{e1f}$ 은 기어 *e*<sub>1</sub>와 *f*기어 사이의 효율,  $\eta_{fg1}$ 은 기어 *f*와 기어 *g*<sub>1</sub>사이의 효율이다. 식 (2)에서  $\eta_{a2b2}$ 는 기어 *a*<sub>2</sub>과 기어 *b*<sub>2</sub>사이의 효율,  $\eta_{e2g2}$ 은 기어 *e*<sub>2</sub>과 기어 *g*<sub>2</sub>사이의 효율이다<sup>(6,7)</sup>.

$$\eta_0' = \eta_{a1b1} \eta_{e1f} \eta_{fg1} \eta_{cvu} \quad (1)$$

$$\eta_0' = \eta_{a2b2} \eta_{e2g2} \eta_{cvu} \quad (2)$$

### 3. 복합형 무단변속기의 설계

#### 3.1 V-벨트식 무단변속기구

V-벨트식 무단변속기구는 Fig. 3과 같이 2개의 가변풀리(variable pulley)들이 고정된 축에 각각 설치되고, 고무 V-벨트로 구동된다. 또한 속도비 조정기와 연결된 링크장치를 통해 한쪽 가변풀리의 회전반경을 변화시키면, 다른 쪽 가변풀리의 회전반경은 코일스프링에 의해 자동으로 조정되어 속도비가 연속적으로 변화한다. V-벨트식 무단변속기구의 전체 변속범위는 0.5~2.0, 축간거리는 279mm, 가변풀리의 최대직경은 216mm으로 설계하였다. 고무 V-벨트는 굽힘에 유연하고, 벨트의 측면에 작용하는 축력(axial force)에 견딜 수 있도록 안쪽이 이(齒) 모양으로 가공된 미국 표준규격(RMA/MPTA 2322V421)의 제품을 선택하였다. 고무 V-벨트의 폭은 36.5mm, 벨트 홈각은 22°, 벨트의 피치길이는 1069.3mm이다.

#### 3.2 2K-H I형식 차동기어

2K-H I형식 차동기어는 Fig. 4와 같이 태양기어 *s*, 링기어(ring gear) *r*, 동심축으로 서로 연결되는 3개의 유성기어 *p*, 유성기어의 원활한 공전운동을 안내하는 캐리어 *c*로 구성된다. 기어들은 압력각이 20°, 모듈이 2.0, 치폭은 30mm인 표준 스퍼기어로 설계되었다. 태양기어의 잇수는  $z_s=24$ , 링기

어의 잇수는  $z_r=72$ , 유성기어 *p*의 잇수는  $z_p=24$ 로 하였다. 캐리어가 고정된 경우의 기본효율( $\eta_0$ )은 식 (3)과 같이 링기어 *r*과 유성기어 *p*사이의 효율  $\eta_{rp}$ 와, 태양기어 *s*와 유성기어 *p*사이의 효율  $\eta_{sp}$ 의 곱으로 계산되었다<sup>(14)</sup>.

$$\eta_0 = \eta_{rp} \eta_{sp} \quad (3)$$

#### 3.3 설계요구사항

복합형 무단변속기는 Fig. 5와 같이 동력순환형 무단변속기와 동력분류형 무단변속기를 결합시키기 때문에 후진, 중립, 언더드라이브(under drive), 오버 드라이브(over drive)를 모두 구현할 수 있어야 한다. 또한 동력순환형 무단변속기만을 사용하는 경우보다 효율은 증가해야 하고, 구성요소들의 동력분담률을 감소시킬 수 있어야 한다. 따라서 본 논

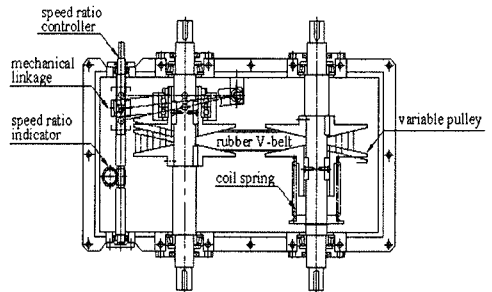


Fig. 3 Drawing of V-belt type CVU

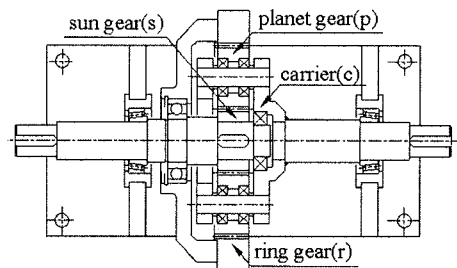


Fig. 4 Drawing of 2K-H I type differential gear

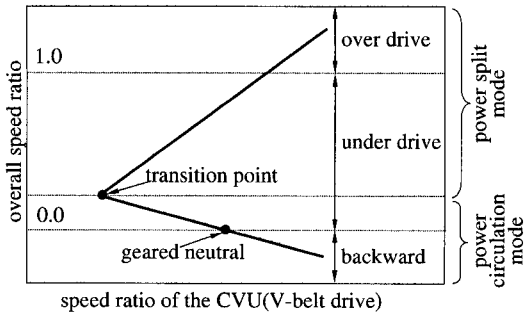


Fig. 5 Power flow modes and speed ratio ranges of compound CVT

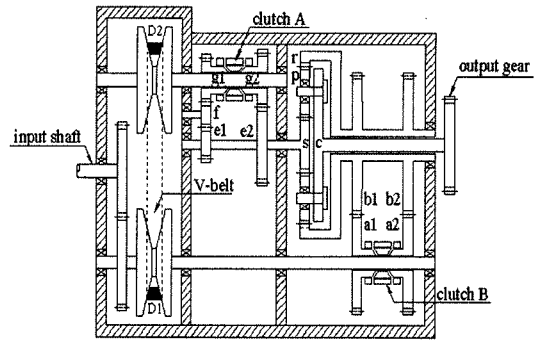


Fig. 6 Designed compound CVT composed of power circulationmode and power split mode

문에서는 복합형 무단변속기를 다음과 같은 설계요구사항을 만족할 수 있도록 설계하였다.

첫째 동력흐름의 변이점(transition point)을 기준으로, 동력순환형과 동력분류형은 서로 반대부호의 속도비 기울기를 가져야 한다.

둘째 동력흐름의 변이점에서는 동력순환형과 동력분류형이 동일한 속도비를 가져야 한다. 본 논문에서는 변이점에서의 속도비를 자동차 기어변속기의 1단에 해당하는 0.5로 설계하였다.

셋째 전체 변속범위 내에서 후진, 중립, 언더 드라이브, 오버 드라이브를 모두 구현하기 위해서 동력순환형은 후진과 중립을 구현할 수 있어야 하고, 동력분류형은 1.0 이상의 속도비를 구현할 수 있어야 한다.

넷째 복합형 무단변속기의 소형화 설계를 위해, 서로 맞물리는 기어들의 잇수비는 지나치게 크지 않아야 한다.

### 3.4 복합형 무단변속기의 구조

Fig. 6은 Fig. 1의 동력순환형과 Fig. 2의 동력분류형을 서로 결합시켜 설계한 복합형 무단변속기의 구조를 보여준다. 복합형 무단변속기에서는 2개의 클러치 A, B가 모두 왼쪽으로 이동하면 동력순환형을 구현하고, 모두 오른쪽으로 이동하면 동력분류형을 구현한다. 설계된 복합형 무단변속기에서 각종 기어들의 잇수는 Table 3과 같다.

Table 3 Number of teeth of gear trains

Designed compound CVT	Numbers of teeth
Power circulation mode	$z_{e1}=29, z_{g1}=58, z_f=18,$ $z_{a1}=78, z_{b1}=78$
Power split mode	$z_{e2}=41, z_{g2}=82,$ $z_{a2}=39, z_{b2}=117$

V-벨트식 무단변속기구의 효율은 속도비 0.5, 1.0, 1.5, 2.0에서 실험을 통해 측정하였고, 4개 속도비 사이의 효율은 실험결과를 이용하여 선형보간법으로 계산하였다<sup>(6,7)</sup>. Table 4는 복합형 무단변속기의 성능해석에 필요한 기어열의 효율과, 제작된 V-벨트식 무단변속기구의 4가지 속도비에서 측정된 효율을 보여준다.

Table 1~4를 이용하여, Fig. 6과 같이 설계된 복합형 무단변속기의 효율, 속도비, 입력동력( $P_i$ )에 대한 차동기어의 동력분담률( $P_{dif}/P_i$ ), 입력동력( $P_i$ )에 대한 무단변속기구의 동력분담률( $P_{cvu}/P_i$ )을 이론적으로 해석하였다.

Table 4 Efficiencies of the gear trains and the CVU

Mating efficiencies of gear trains	
$\eta_{rp1}=\eta_{sp2}=\eta_{ab1}=\eta_{eg1}=\eta_{a2b2}=\eta_{e2f}=\eta_{fg2}=0.982$	
V-belt type continuously variable unit	
Speed ratios	efficiency( $\eta_{CVU}$ )
0.50	0.938
0.66	0.904
1.00	0.870
2.00	0.824

## 4. 복합형 무단변속기의 성능해석

### 4.1 이론해석

복합형 무단변속기에서 서로 맞물리는 각종 기어열의 효율해석은 베어링 손실과 윤활 손실을 무시하고, 기어 치면의 마찰손실(마찰계수 0.1)만을 고려하여 계산한 결과를 이용하였다<sup>(14)</sup>.

## 4.2 성능시험

### 4.2.1 복합형 무단변속기의 제작

Fig. 3, 4와 같이 설계된 V-벨트식 무단변속기구와 2K-H I형식 차동기어는 Fig. 7, 8과 같이 각각 제작되었다. 또한 이들은 설계된 복합형 무단변속기에 모두 설치될 수 있도록 제작되었다.

### 4.2.2 실험장치

복합형 무단변속기의 성능시험은 Fig. 9와 같이 구동용 교류전동기, V-벨트식 무단변속기구, 2K-H I형식 차동기어, 토오크센서, 속도센서, 부하장치, 각종 기어열로 구성된 실험장치를 이용하여 수행되었다. 구동용 교류전동기(11kW)는 부하의 크기에 관계없이 설정된 회전속도를 일정하게 유지시킬 수 있도록 속도제어가 수행되었다. 실험장치의 입력축과 출력축에는 각각 토오크센서와 속도센서 1개씩을 설치하여, 부하에 의해 발생하는 토오크와, 회전속도를 측정하였다. 토크센서는 스트레인 게이지 형식으로서 0~100Nm의 측정범위를

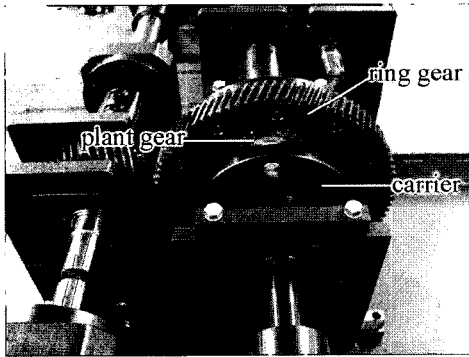


Fig. 7 Photograph of 2K-H I type differential gear

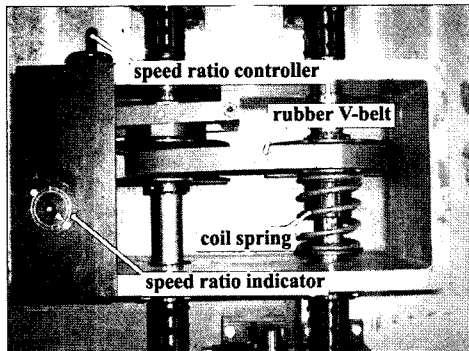


Fig. 8 Photograph of V-belt type CVU

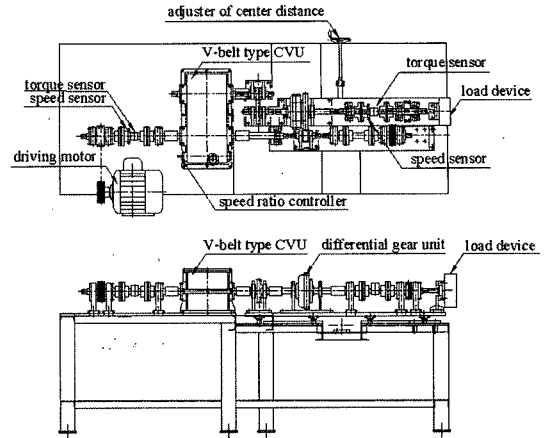


Fig. 9 (a) Schematic drawing of experiment rig for compound CVT

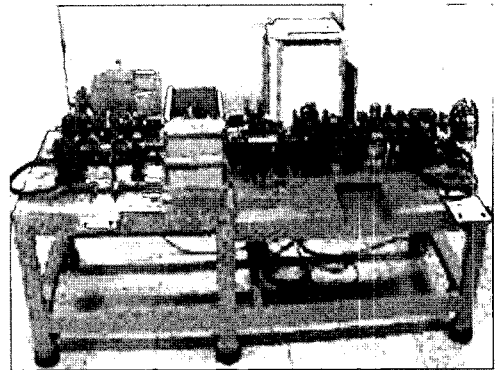


Fig. 9 (b) Photograph of experiment rig for compound CVT

갖는다. 속도센서는 적색 발광 다이오드를 광원으로 하는 광화이버 센서로서, 60~2400rpm의 측정범위를 갖는다. 부하장치는 0~100Nm의 용량을 갖는 전자기식 파티클(particle) 브레이크로서, 부하의 크기를 연속적으로 제어할 수 있다.

고무 V-벨트의 장력 안정화, 차동기어와 구성 기어열의 치면 마찰상태 안정화, 부하장치의 냉각을 위해 모든 실험조건에서 20분의 무부하 작동을 한 후에 성능시험을 수행하였다.

### 4.2.3 실험결과와 분석

Fig. 9와 같은 실험장치를 이용하여 무단변속기를 구동하고 출력축에 부하를 작용시킨 후, 입력축과 출력축의 회전속도와 토오크를 측정하였다. 복합형 무단변속기의 효율과 속도비는 동력분류형과 동력순환형을 각각 개별적으로 실험한

후, 식 (4)를 이용하여 계산하였다. 여기서  $\eta$ 는 무단변속기의 효율,  $i$ 는 속도비,  $T_i$ 는 입력축에 발생하는 토크,  $T_0$ 는 출력축에 발생하는 토크,  $\omega_i$ 는 입력축의 회전속도,  $\omega_0$ 는 출력축의 회전속도이다.

$$\eta = \frac{T_0 W_0}{T_i W_i} = \frac{T_0}{T_i} i \quad (4)$$

### 5. 결과 및 고찰

Fig. 10(a)는 복합형 무단변속기의 동력분류형에 대해 V-벨트식 무단변속기구의 속도비( $i_{cvu}$ )가 1.38일 때의 성능실험 결과를 보여준다. 부하를 증가시키면 입력축과 출력축에 발생하는 토크는 증가하지만, 각각의 회전속도는 거의 일정하게 유지되었다. Fig. 10(b)는 Fig. 10(a)의 실험결과를 식 (4)에 대입하여 계산한 효율과 속도비를 보여준다. 효율은

출력축에 발생하는 토크의 증가(부하의 증가)하면 최고효율까지 증가하지만, 속도비는 거의 일정하게 유지되었다.

Fig. 11(a), 11(b)는 설계된 복합형 무단변속기의 효율과 속도비에 대해 이론해석 결과와 성능실험 결과를 비교한 것이다. 효율에 대한 이론해석과 성능실험 결과는 최대 5%P 차이 내에서 유사한 경향을 나타냈다. 이러한 차이는 이론해석에서 고려되지 않은 무단변속기와 실험장치의 관성, 각종 연결부위와 베어링에서 발생하는 손실이 복합적으로 작용한 것으로 분석되었다. 반면, 속도비, 중립의 발생, 동력분류형과 동력순환형의 변이점은 이론해석 결과와 성능실험 결과가 거의 일치하였다

Fig. 12는 복합형 무단변속기에서 입력동력( $P_i$ )에 대한 V-벨트식 무단변속기구의 동력분담률( $P_{cvu}/P_i$ )과 차동기어의 동력분담률( $P_{dif}/P_i$ )을 해석한 결과이다. 동력분류형의 경우 V-벨트식 무단변속기구와 차동기어가 전체 입력동력을 임의의 비율로 분담하여 전달하므로, 각각의 동력분담

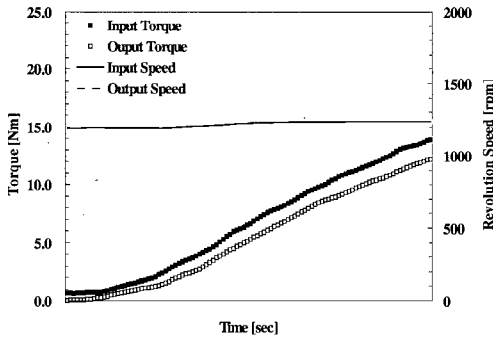


Fig. 10 (a) Experimental results for power split mode of the compound CVT at  $i_{cvu} = 1.38$

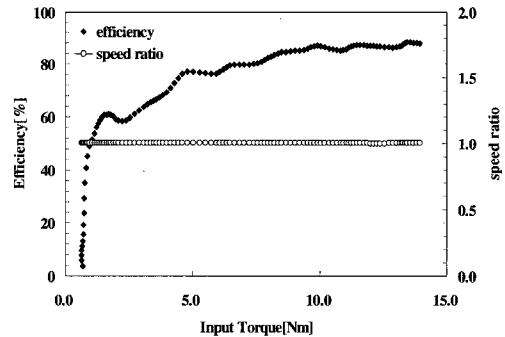


Fig. 10 (b) Experimental efficiency and speed ratio for power split mode of the compound CVT at  $i_{cvu} = 1.38$

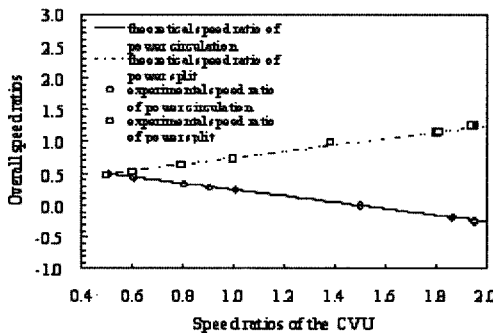


Fig. 11 (a) Experimental and theoretical efficiency of the designed compound CVT

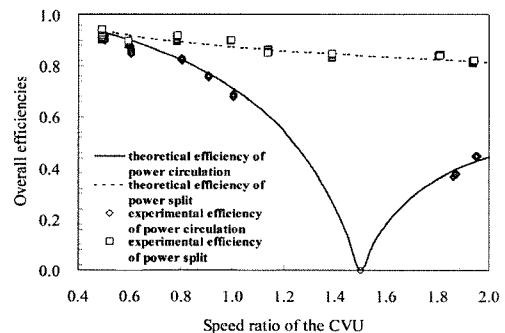


Fig. 11 (b) Experimental and theoretical speed ratio of the designed compound CVT

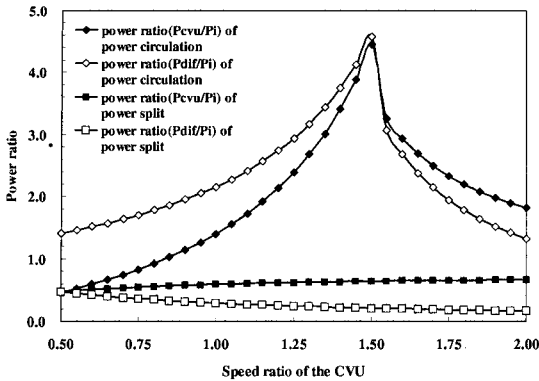


Fig. 12 Power transmission ratios of the designed compound CVT

률은 1.0이하의 값을 나타냈다. 반면 동력순환형의 경우는 출력동력의 일부가 무단변속기 내부로 재순환되기 때문에 무단변속기구와 차동기어의 동력분담률이 높았고, 특히 중립에서는 모든 출력동력이 무단변속기 내부로 재순환되므로 각각의 동력분담률은 최대값을 나타냈다.

복합형 무단변속기에서의 동력순환형은 후진과 중립, 그리고 언더드라이브의 일부분을 구현하고, 상대적으로 효율이 높고 구성요소의 동력분담률이 낮은 동력분류형이 대부분의 언더드라이브와 오버드라이브를 구현한다. 따라서 동력순환형만을 사용하는 경우와 비교할 때, 복합형 무단변속기는 효율 증대, 구성요소의 동력분담률 저하 효과가 있으므로 소형화 설계가 가능하고, 내구성이 향상될 것으로 판단된다. 동력분류형만을 단독으로 사용하는 경우에 비해, 복합형 무단변속기는 중립과 후진을 구현할 수 있다는 장점을 실험적으로 확인하였다. 이론해석 결과와 성능실험 결과의 비교를 통해, 본 논문에서 설계된 복합형 무단변속기는 실제로 구현 가능하고, 동력순환형 또는 동력분류형만을 단독으로 사용하는 경우보다 성능이 향상되었다.

## 6. 결론

V-벨트식 무단변속기구에 2K-H I형식 차동기어를 입력축 연결방식으로 연결하여 제안되었던, 동력순환형 무단변속기와 동력분류형 무단변속기를 서로 결합시켜 복합형 무단변속기를 설계하였다. 설계된 복합형 무단변속기의 효율, 속도비, 동력흐름, V-벨트식 무단변속기구의 동력분담률, 2K-H I형식 차동기어의 동력분담률에 대해 이론해석과 성능실험을 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 설계된 복합형 무단변속기는 후진, 중립, 언더 드라이브, 오버 드라이브를 모두 구현할 수 있고, 동력순환형 또는 동력분류형만을 단독으로 사용하는 경우보다 성능이 향상되었다.
- (2) 복합형 무단변속기의 설계방정식은 실험적으로 그 타당성이 검증되었으므로 설계에 활용 가능하다.

## 참고 문헌

- (1) Beachley, N. H., and Frank, A. A., 1980, "Principles and Definitions for Continuously Variable Transmissions with Emphasis on Automotive Application," *ASME Paper 80-C2 /DET-95*.
- (2) Kang, S. I., 1980, "Shifting and steering Performance Analysis of Hydromechanical Continuous Variable Transmission," *Journal of the Korean Society of Machine Tool Engineers*, Vol. 4, No. 2, pp. 25 ~ 30.
- (3) Kim, Y. S., and Choi, S. H., 1980, "Power Flow and Efficiency of Input Coupled type CVT combined Differential Gear Unit," *J. of the KSPE*, Vol. 17, No. 11, pp. 141 ~ 150.
- (4) Choi, S. H., and Kim, Y. S., 1980, "Characteristics on the Output Coupled CVT with Differential Gear," *J. of the KSPE*, Vol. 18, No. 3, pp. 205 ~ 216.
- (5) Kim, Y. S., and Choi, S. H., 1980, "Development of CVTs Composed of a 2K-H I Type Differential Gear Unit and a V-belt Drive," *Tran. of the KSME(A)*, Vol. 26, No. 6, pp. 1060 ~ 1068.
- (6) Kim, Y. S., and Choi, S. H., 1980, "Continuously Variable Transmission Composed of a V-belt Drive and a 2K-H II type Differential Gear Unit," *Tran. of the KSME(A)*, Vol. 26, No. 8, pp. 1495 ~ 1505.
- (7) Park, J. M., Kim, Y. S., and Choi, S. H., 1980, "Performance Analysis of CVTs with a 2K-H II Differential Gear," *J. of the KSPE*, Vol. 21, No. 4, pp. 170 ~ 178.
- (8) Choi, S. H., 1980, "Performance of CVTs Composed of a Differential Gear Unit and a V-belt Drive," *J. of the KSPE*, Vol. 20, No. 2, pp. 199 ~ 208.
- (9) Roberts, R. W., 1980, "Continuously Variable Transmission with Synchronous shift," *US Patent No. 4589303*.

- (10) Macey, J. P., 1980, "Geared-Neutral Continuously Variable Transmission," *US Patent* No. 4644820.
- (11) Hanachi, S., 1980, "A Study of the Dynamics of a Split-Torque, Geared-Neutral Transmission Mechanism," *Journal of Mechanical Design*, Vol. 112, pp. 261~270.
- (12) Morozumi, M., Kishi, S., Furukawa, Y., and Misawa, H., 1980, "A Study of Variable Speed Transmission with Differential Gear," *Journal of Japan Automotive technology Association*, No. 46, pp. 45~49.
- (13) Kishi, S., Morozumi, M., Furukawa, Y., Misawa, H. and Miyata, H., 1992, "A Study of a Variable Speed Transmission with a Hypocycloid Type Differential Gearing," *Journal of Japan Automotive technology Association*, Vol. 23, No. 2, pp. 91~96.
- (14) Kim, Y. S., Choi, S. U., and Choi, S. H., 1980, "A Study on the Efficiency Analysis of 2K-H Type Planetary Gear Train," *J. of the KSPE*, Vol. 17, No. 3, pp. 200~207.