

## 2K-H형 I 형식 차동기어장치와 V-belt 전동장치를 결합한 무단변속기의 개발

김 연 수\* · 최 상 훈†

(2001년 7월 19일 접수, 2002년 3월 12일 심사완료)

### Development of CVTs Composed of a 2K-H I Type Differential Gear Unit and a V-belt Drive

Yeon-Su Kim and Sang-Hoon Choi

**Key Words:** Continuously Variable Transmission(무단변속기), Differential Gear Unit(차동기어장치), Power Circulation(동력순환), Power Split(동력분류), Geared Neutral(중립)

#### Abstract

Compound continuously variable transmission(CVT) mechanisms are proposed, which can offer a backward mode, a geared neutral, an underdrive mode and an overdrive mode. They are composed of a 2K-H I type differential gear unit, a V-belt type continuously variable unit(CVU), a few friction clutches and gears, and not required of a starting device as a torque converter. Compound CVT mechanisms developed here present two distinct operating modes which are a power circulation mode and a power split mode. The transition of two modes takes place at the particular CVU speed ratio. For these CVT mechanisms, performance analysis related to speed ratio, power ratio and efficiency are executed and proven by experimental studies.

#### 1. 서론

무단변속기(CVT)는 정해진 변속 범위 내에서 연속적으로 속도비를 변화시킬 수 있는 장치로서 엔진속도를 차량속도와 독립적으로 제어함으로써 동력성과 연비성을 동시에 만족시킬 수 있는 변속기이다. 또한 무단변속의 구현을 위해 다양한 종류의 기구가 개발되어 사용되고 있으나, 이들 대부분은 자체적으로 중립(geared neutral)을 구현할 수 없거나 동력전달 효율과 수명 측면에서 기어전동장치보다 불리하다.<sup>(1,2)</sup> 이러한 단점을 극복하기 위해 기존의 무단변속기구에 차동기어장치를 결합시킨 형태의 무단변속기에 대한 연구가 진행되었고, 이러한 형태는 소형 및 경량화

설계가 가능하고 동력전달 효율의 증대 및 변속 범위의 확대, 그리고 중립의 생성 등 많은 장점을 가지고 있는 것으로 분석되었다.<sup>(3,5)</sup>

V-벨트식 무단변속기구는 구조가 단순하고 설계 및 제작이 용이하여 실용화된 대부분의 무단변속기에 사용되고 있으며, 차동기어장치를 결합시킨 무단변속기에 대한 많은 연구가 진행되어 왔다.<sup>(6-10)</sup> 특히 저자는 이러한 V-벨트식 무단변속기구에 2K-H형 I형식 차동기어장치를 결합시켜 여러 개의 동력순환형과 동력분류형 구성을 제안하여 효율, 동력흐름 및 동력분담율, 속도비 등에 대한 이론식을 유도하고, 실험을 통해 이론식의 타당성을 검증하였다.<sup>(9,10)</sup> 그러나 동력순환형과 동력분류형을 기구학적으로 결합시켜 각각의 단점을 보완하는 연구가 요구되었다. 해외에서는 이와 관련된 다수의 연구가 진행되었으나 별도의 체인구동장치를 추가해야 하거나 무단변속기구를 여러 개 사용해야 하는 것이 대부분이었다.<sup>(11-14)</sup>

본 연구에서는 저자가 제안했던 무단변속기 기본구성의 구조와 이론식을 이용하여 체인 등 별

\* 회원, 한국철도기술연구원, 경량전철연구팀

† 책임저자, 회원, 건국대학교 기계항공공학부

E-mail : shchoi@konkuk.ac.kr

TEL : (02)450-3476 FAX : (02)444-1033

도의 기구가 요구되지 않고 동력순환형과 동력분류형을 상호 결합시켜 후진, 중립, 전진을 모두 구현할 수 있고, 효율증대를 도모할 수 있는 복합형 무단변속기의 구조를 제안하였다. 또한 제안된 무단변속기의 특성해석과 특성실험을 수행하고 상호 결과를 비교함으로써 제안된 무단변속기의 구현 가능성을 확인하였다.

2. 기본구성 및 동력흐름

2.1 V-벨트식 무단변속기구

본 연구에서는 Fig. 1과 같이 고정된 축간거리를 가지며 2개의 가변폴리로 구성되며, 한쪽의 가변폴리 직경을 변화시키면 다른 한쪽은 링크기구와 스프링에 의해 자동적으로 직경이 변화하는 V-벨트식 무단변속기구를 사용하였다.<sup>(9,10)</sup>

2.2 2K-H형 I 형식 차동기어장치

Fig. 2는 태양기어, 링기어, 캐리어를 기본축으로 사용하여 동심축으로 구성하는 2K-H형 I형식 차동기어장치이다. 또한 차동기어장치의 기본 효율( $\eta_0$ )은 캐리어가 고정되는 경우 링기어와 유성기어의 물림효율( $\eta_{rp}$ )과 태양기어와 유성기어의 물림효율( $\eta_{sp}$ )의 곱으로 정의된다.<sup>(15)</sup>

$$\eta_0 = \eta_{rp} \eta_{sp} \quad (1)$$

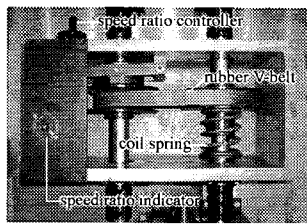


Fig. 1 V-belt type continuously variable unit

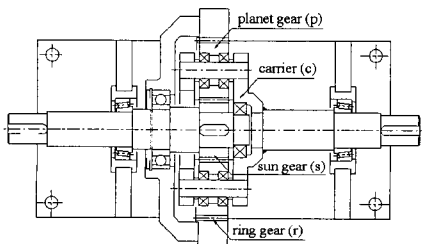


Fig. 2 2K-H I type differential gear unit

2.3 구성방법 및 동력흐름

V-벨트식 무단변속기구와 차동기어장치를 결합하는 방법으로는 무단변속기구가 입력축에 직접 연결되는 입력축 연결방식(input coupled type)과 출력축에 연결되는 출력축 연결방식(output coupled type)이 있다.<sup>(2)</sup> 이러한 2가지 방식은 구조적으로 입력축과 출력축이 뒤바뀐 형태지만 속도비와 동력전달 효율은 매우 상이한 특성을 갖는다.<sup>(9,10)</sup>

무단변속기의 동력순환형은 출력동력의 일부가 변속기 내부를 순환하는 형태로서 무단변속기구를 기준으로 출력축 방향으로 순환하는 정방향 순환형(positive circulation)과 반대로 순환하는 부방향 순환형(negative circulation)이 있다. 또한 동력분류형은 전체 입력동력을 무단변속기구와 차동기어장치가 분담하여 전달하는 동력흐름이다.<sup>(2,9,10)</sup>

입력축 연결방식에서 동력순환형의 경우 후진, 중립, 전진의 구현이 모두 가능하지만 순환하는 동력이 증가하고 효율이 낮다는 단점이 있고, 동력분류형은 효율이 높고 순환하는 동력이 없지만 중립의 구현이 불가능하다는 단점이 있다.<sup>(9)</sup>

출력축 연결방식에서 동력순환형은 무한대로 발산하는 쌍곡선의 속도비와 매우 큰 동력분담율을 가지므로 무단변속기로 사용하기가 곤란하다. 또한 동력분류형은 입력축 연결방식의 경우와 유사한 특성을 갖는다.<sup>(10)</sup>

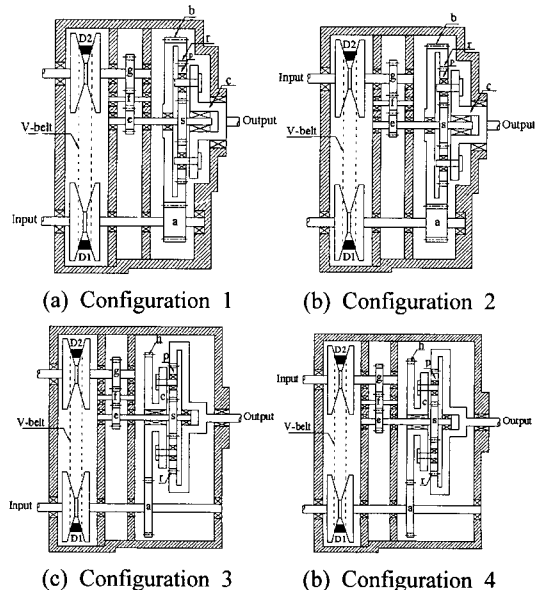


Fig. 3 Input coupled type basic configurations for compound CVT development

Table 1 Speed ratios, power ratios and efficiencies for four power circulation modes

config -ration	equivalent relations ( $i_{eq}$ )	criteria of power flow direction	speed ratios( $i$ )	overall efficiencies of CVT( $\eta$ )	power ratio of CVU( $P_{CVU}/P_i$ )	power ratio of differential gear unit( $P_{diff}/P_i$ )	power flow mode
1	$D_1 z_g z_b$ $D_2 z_e z_a$	$i_{eq} > i_0$	$\frac{i_{eq} - i_0}{1 + i_0} \frac{z_b}{z_a}$	$\frac{\eta_0'(1 + \eta_0 i_0)(i_{eq} - i_0)}{(1 + i_0)(i_{eq} - \eta_0 \eta_0' i_0)}$	$\frac{\eta_0' i_{eq}}{i_{eq} - \eta_0 \eta_0' i_0}$	$\frac{\eta_0 \eta_0' i_0}{i_{eq} - \eta_0 \eta_0' i_0}$	positive circulation
		$i_{eq} < i_0$	$-\frac{i_0 - i_{eq}}{1 + i_0} \frac{z_a}{z_b}$	$\frac{(\eta_0 + i_0)(i_0 - i_{eq})}{(1 + i_0)(i_0 - \eta_0 \eta_0' i_{eq})}$	$\frac{\eta_0 i_{eq}}{i_0 - \eta_0 \eta_0' i_{eq}}$	$\frac{i_0}{i_0 - \eta_0 \eta_0' i_{eq}}$	negative circulation
2	$D_1 z_g z_b$ $D_2 z_e z_a$	$i_{eq} > i_0$	$\frac{i_{eq} - i_0}{i_{eq}(1 + i_0)} \frac{z_g}{z_e}$	$\frac{(1 + \eta_0 i_0)(i_{eq} - i_0)}{(1 + i_0)(i_{eq} - \eta_0 \eta_0' i_0)}$	$\frac{\eta_0 i_0}{i_{eq} - \eta_0 \eta_0' i_0}$	$\frac{i_{eq}}{i_{eq} - \eta_0 \eta_0' i_0}$	negative circulation
		$i_{eq} < i_0$	$-\frac{i_0 - i_{eq}}{i_{eq}(1 + i_0)} \frac{z_g}{z_e}$	$\frac{\eta_0'(\eta_0 + i_0)(i_0 - i_{eq})}{(1 + i_0)(i_0 - \eta_0 \eta_0' i_{eq})}$	$\frac{\eta_0' i_0}{i_0 - \eta_0 \eta_0' i_{eq}}$	$\frac{\eta_0 \eta_0' i_{eq}}{i_0 - \eta_0 \eta_0' i_{eq}}$	positive circulation
3	$D_1 z_g z_h$ $D_2 z_e z_a$	$1 + i_0 > i_{eq}$	$-\frac{(1 + i_0 - i_{eq})}{i_0} \frac{z_a}{z_h}$	$\frac{\eta_0(1 + i_0 - i_{eq})}{1 + \eta_0 i_0 - \eta_0^2 \eta_0' i_{eq}}$	$\frac{\eta_0^2 i_{eq}}{1 + \eta_0 i_0 - \eta_0^2 \eta_0' i_{eq}}$	$\frac{1 + \eta_0 i_0}{1 + \eta_0 i_0 - \eta_0^2 \eta_0' i_{eq}}$	negative circulation
		$1 + i_0 < i_{eq}$	$\frac{i_{eq} - (1 + i_0)}{i_0} \frac{z_a}{z_h}$	$\frac{\eta_0 \eta_0'(1 + i_0 - i_{eq})}{\eta_0 \eta_0'(\eta_0 + i_0) - i_{eq}}$	$\frac{\eta_0' i_{eq}}{i_{eq} - \eta_0 \eta_0'(\eta_0 + i_0)}$	$\frac{\eta_0 \eta_0'(\eta_0 + i_0)}{i_{eq} - \eta_0 \eta_0'(\eta_0 + i_0)}$	positive circulation
4	$D_1 z_g z_h$ $D_2 z_e z_a$	$1 + i_0 > i_{eq}$	$-\frac{(1 + i_0 - i_{eq})}{i_0 i_{eq}} \frac{z_g}{z_e}$	$\frac{\eta_0 \eta_0'(1 + i_0 - i_{eq})}{1 + \eta_0 i_0 - \eta_0^2 \eta_0' i_{eq}}$	$\frac{\eta_0'(1 + \eta_0 i_0)}{1 + \eta_0 i_0 - \eta_0^2 \eta_0' i_{eq}}$	$\frac{\eta_0^2 \eta_0' i_{eq}}{1 + \eta_0 i_0 - \eta_0^2 \eta_0' i_{eq}}$	positive circulation
		$1 + i_0 < i_{eq}$	$\frac{i_{eq} - (1 + i_0)}{i_0 i_{eq}} \frac{z_g}{z_e}$	$\frac{\eta_0(1 + i_0 - i_{eq})}{\eta_0 \eta_0'(\eta_0 + i_0) - i_{eq}}$	$\frac{\eta_0(\eta_0 + i_0)}{i_{eq} - \eta_0 \eta_0'(\eta_0 + i_0)}$	$\frac{i_{eq}}{i_{eq} - \eta_0 \eta_0'(\eta_0 + i_0)}$	negative circulation

Table 2 Speed ratios, power ratios and efficiencies for four power split modes

config -ration	speed ratios( $i$ )	overall efficiencies of CVT( $\eta$ )	power ratio of CVU( $P_{CVU}/P_i$ )	power ratio of differential gear unit( $P_{diff}/P_i$ )
1	$-\frac{i_0 + i_{eq}}{1 + i_0} \frac{z_a}{z_b}$	$\frac{\eta_0'(\eta_0 + i_0)(1 + \eta_0 i_0)(i_0 + i_{eq})}{(1 + i_0)\{ (1 + \eta_0 i_0) i_0 \eta_0' + (\eta_0 + i_0) i_{eq} \}}$	$\frac{\eta_0' i_{eq}(\eta_0 + i_0)}{\{ (1 + \eta_0 i_0) i_0 \eta_0' + (\eta_0 + i_0) i_{eq} \}}$	$\frac{\eta_0' i_0(1 + \eta_0 i_0)}{\{ (1 + \eta_0 i_0) i_0 \eta_0' + (\eta_0 + i_0) i_{eq} \}}$
2	$-\frac{i_{eq} + i_0}{i_{eq}(1 + i_0)} \frac{z_g}{z_e}$	$\frac{\eta_0'(\eta_0 + i_0)(1 + \eta_0 i_0)(i_{eq} + i_0)}{(1 + i_0)\{ i_0(1 + \eta_0 i_0) + i_{eq} \eta_0'(\eta_0 + i_0) \}}$	$\frac{\eta_0' i_0(1 + \eta_0 i_0)}{\{ i_0(1 + \eta_0 i_0) + i_{eq} \eta_0'(\eta_0 + i_0) \}}$	$\frac{\eta_0' i_{eq}(\eta_0 + i_0)}{\{ i_0(1 + \eta_0 i_0) + i_{eq} \eta_0'(\eta_0 + i_0) \}}$
3	$-\frac{1 + i_0 + i_{eq}}{i_0} \frac{z_a}{z_h}$	$\frac{\eta_0 \eta_0'(1 + i_0 + i_{eq})}{i_{eq} + \eta_0'(1 + \eta_0 i_0)}$	$\frac{\eta_0' i_{eq}}{i_{eq} + \eta_0'(1 + \eta_0 i_0)}$	$\frac{\eta_0'(1 + \eta_0 i_0)}{i_{eq} + \eta_0'(1 + \eta_0 i_0)}$
4	$-\frac{1 + i_0 + i_{eq}}{i_0 i_{eq}} \frac{z_g}{z_e}$	$\frac{\eta_0 \eta_0'(1 + i_0 + i_{eq})}{1 + \eta_0 i_0 + \eta_0' i_{eq}}$	$\frac{\eta_0'(1 + \eta_0 i_0)}{1 + \eta_0 i_0 + \eta_0' i_{eq}}$	$\frac{\eta_0' i_{eq}}{1 + \eta_0 i_0 + \eta_0' i_{eq}}$

2.4 기본구성

동력순환형과 동력분류형을 결합시킨 복합형 무단변속기의 개발을 위해서 선행연구<sup>(9,10)</sup>를 통해 저자가 제안한 24가지 무단변속기 중에서 입력축 연결방식 8가지를 기본구성으로 사용하였다. 이들 기본구성의 구조는 Fig. 3과 같으며, 아이들러 기어 f의 유무에 따라 동력흐름이 변경되므로 실제 구성은 8가지가 된다.

Fig. 3에서 동력순환형과 동력분류형에 대한 동력흐름, 속도비( $i$ ), 이론효율( $\eta$ ), 동력분담율에 대한 이론식은 Table 1, 2와 같다. 여기서  $\eta_{CVU}$ 는 V-벨트식 무단변속기구 효율이고,  $\eta_{ab}$ ,  $\eta_{ef}$ ,  $\eta_{fg}$ ,  $\eta_{eg}$ ,  $\eta_{ah}$ 는 기어 a와 b, e와 f, f와 g, e와 g, a와 h 사이의 물림효율이다.

아이들러 기어 f가 있는 동력순환형 구성 1과 2, 동력분류형 구성 3과 4에서  $\eta_0'$ 은 식 (2)와 같다. 또한 아이들러 기어 f가 없는 동력분류형 구성 1과 2, 동력순환형 구성 3과 4는 식 (3)과 같다.

$$\eta_0' = \eta_{ab} \eta_{ef} \eta_{fg} \eta_{CVU} = \eta_{ah} \eta_{ef} \eta_{fg} \eta_{CVU} \tag{2}$$

$$\eta_0' = \eta_{ab} \eta_{eg} \eta_{CVU} = \eta_{ah} \eta_{eg} \eta_{CVU} \tag{3}$$

또한  $z_r$ ,  $z_s$ ,  $z_p$ ,  $z_a$ ,  $z_b$ ,  $z_h$ ,  $z_e$ ,  $z_g$ 는 링기어 r, 태양기어 s, 유성기어 p, 기어 a, b, h, e, g의 잇수이고,  $D_1$ 과  $D_2$ 는 V-벨트 풀리 1, 2의 회전직경이다. 또한  $i_0$ 는 차동기어장치의 기본속도비로서 링기어와 태양기어의 잇수비( $z_r/z_s$ )이다.

### 3. 복합형 무단변속기의 개발

#### 3.1 설계 파라미터

차동기어장치의 기본속도비  $z_r/z_s$ , 기어비  $z_b/z_a$  또는  $z_h/z_a$ , 기어비  $z_g/z_c$ 를 설계 파라미터로 정의하고, Table 3과 같은 조건으로 이들 변수에 대한 기본 구성들의 효율, 속도비, 동력분담율을 해석하였다. 각종 기어의 물림효율과 V-벨트식 무단변속기구의 효율은 Table 4와 같다. 차동기어장치 및 각종 기어열의 물림효율은 표준 스퍼기어이며 베어링손실과 윤활손실은 무시하고 치면의 마찰손실(마찰계수 0.1)만을 고려하였다.<sup>(15)</sup> 무단변속기구의 효율은 4개의 속도비에 대해 효율 측정실험을 수행하였고, 이들 사이의 효율은 실험결과를 이용하여 선형보간법으로 적용하였다.<sup>(9,10)</sup>

#### 3.2 동력순환형 기본구성의 특성

차동기어장치의 기본 속도비 증가에 따라 구성 1과 3의 중립점은 무단변속기구의 속도비 2.0의 방향으로 이동하지만, 구성 2, 4는 0.5의 방향으로 이동하는 경향을 갖는다. 기어비  $z_b/z_a$  또는  $z_h/z_a$ ,  $z_g/z_c$ 에 대한 경향은 기본속도비의 경우와 반대이다. Fig. 4는 차동기어장치의 기본속도비 변화에 따른 동력순환형 구성 1의 효율과 속도비를 해석한 결과를 보여준다.

**Table 3** Parameter range for parametric analysis

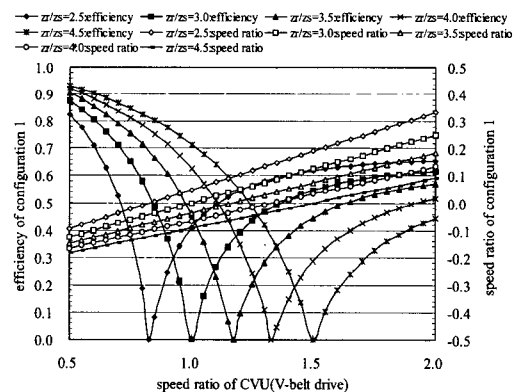
parameters	ranges	remarks
$z_r/z_s$	2.5~4.5	$z_b/z_a = z_h/z_a = 2.0$ $z_g/z_c = 1.0$
$z_b/z_a, z_h/z_a$	1/3~3.0	$z_r/z_s = 3.0$ $z_g/z_c = 1.0$
$z_g/z_c$	1/3~3.0	$z_r/z_s = 3.0$ $z_g/z_c = 1.0$

**Table 4** Efficiencies of gears and the CVU

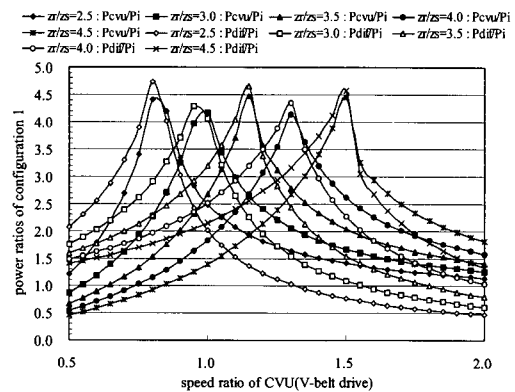
a differential gear unit & gear trains	
$\eta_{rp}=0.992, \eta_{sp}=0.982, \eta_{ef}=0.982, \eta_{fg}=0.982$	
$\eta_{eg}=0.982, \eta_{ab}=0.982, \eta_{ah}=0.982$	
a continuously variable unit	
speed ratios	efficiency of the CVU
0.50	0.938
0.66	0.904
1.00	0.870
2.00	0.824

구성 1, 3의 속도비 기울기는 양의 값이며, 구성 2, 4는 음의 값이다. 기본 속도비 증가에 따라 구성 1, 3, 4의 속도비 기울기는 감소하고 크기는 음의 방향으로 증대되지만, 구성 2의 경우는 기울기 변화 없이 음의 방향으로 평행이동 한다. 기어비  $z_b/z_a$  또는  $z_h/z_a$ ,  $z_g/z_c$ 의 증가에 따라 모든 구성의 속도비는 양의 방향으로 증대된다.

동력순환형의 중립점에서는 출력되는 동력이 없고 모두 변속기 내부에서 순환하므로 입력동력 ( $P_i$ )에 대한 무단변속기구의 동력분담율( $P_{CVU}/P_i$ )과 차동기어장치의 동력분담율( $P_{diff}/P_i$ )은 최대값이 되며, 설계 파라미터에 대해 효율과 동일한 경향을 갖는다. Fig. 5는 차동기어장치의 기본속도비 변화에 따른 동력순환형 구성 1의 동력분담율을 해석한 결과이다.



**Fig. 4** Efficiency and speed ratio of configuration 1 (power circulation) as changing the  $z_r/z_s$



**Fig. 5** Power ratio of configuration 1 (power circulation) as changing the  $z_r/z_s$

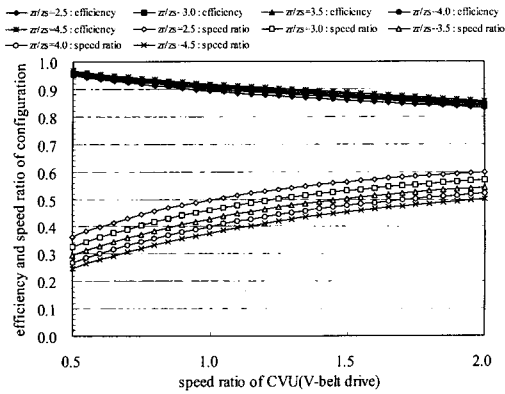


Fig. 6 Efficiency and speed ratio of configuration 1 (power split) as changing the  $z_r/z_s$

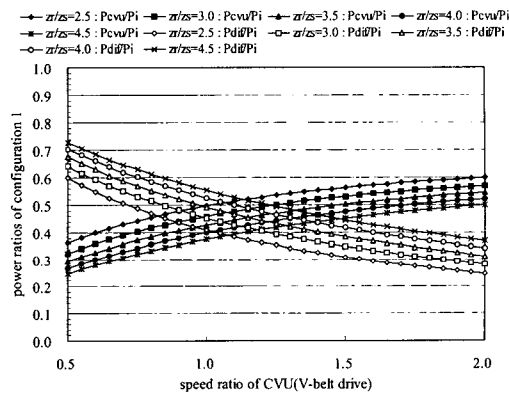


Fig. 7 Power ratios of configuration 1 (power split) as changing the  $z_r/z_s$

3.3 동력분류형 기본구성의 특성

차동기어장치의 기본 속도비 증가에 따라 구성 1, 3의 효율은 비례하지만, 구성 2, 4의 효율은 반비례한다. 기어비  $z_b/z_a$  또는  $z_h/z_a$ ,  $z_g/z_c$ 의 변화는 기본속도비의 경우와 반대의 효율경향을 나타낸다. Fig. 6은 기본속도비 변화에 대한 동력분류형 구성 1의 효율과 속도비를 해석한 결과이다.

모든 구성의 속도비 크기 및 기울기는 음의 값이다. 차동기어장치의 기본 속도비, 기어비  $z_b/z_a$  또는  $z_h/z_a$ 의 증가에 대해 속도비의 크기 및 기울기는 감소하는 반면 기어비  $z_g/z_c$ 의 변화에 대해서는 이와 반대의 경향을 나타낸다.

무단변속기구보다 상대적으로 효율이 높은 차동기어장치의 동력분담율은 효율과 동일한 경향을 갖지만 무단변속기구의 동력분담율은 효율과

반대되는 경향을 갖는다. Fig. 7은 기본속도비 변화에 따른 구성 1의 무단변속기구와 차동기어장치의 동력분담율을 해석한 결과이다.

3.4 설계 요구사항

동력순환형과 동력분류형을 결합시켜 설계된 복합형 무단변속기는 다음과 같은 4가지의 설계 요구사항을 만족해야 한다.

첫째 동력순환형과 동력분류형은 변환점을 기준으로 서로 반대되는 속도비 기울기를 가져야 한다. 둘째 동력순환형과 동력분류형의 변환점에서 동일한 속도비 가져야 한다. 본 논문에서는 변환점에서의 속도비를 0.5로 설정하였다. 셋째 후진, 중립, 언더 드라이브(under drive), 오버 드라이브(over drive)를 구현하기 위해 동력순환형은 반드시 중립점을 포함해야 하며, 동력분류형의 속도비는 1.0 이상을 구현해야 한다. 넷째 각종 기어비가 지나치게 크지 않아야 한다.

3.5 복합형 무단변속기의 제안

설계 파라미터의 변화에 대한 기본구성의 특성 해석 결과와 복합형의 설계 요구사항을 이용하여 10가지의 복합형 무단변속기를 제안하였다.

1) 순환형 구성 1과 분류형 구성 1의 복합형

Fig. 3에서 기어 f가 있는 구성 1과 기어 f가 없는 구성 1을 결합시킨 복합형이다. 그 구조는 Fig. 8과 같고 2개의 클러치 C와 D만 필요로 하며, 클러치 C와 D가 왼쪽으로 이동하면 동력순환형을, 오른쪽으로 이동하면 동력분류형을 구현한다. Fig. 9는  $z_r/z_s=3.0$ ,  $z_{b1}/z_{a1}=1.0$ ,  $z_{g1}/z_{e1}=2.0$ ,  $z_{b2}/z_{a2}=3.0$ ,  $z_{g2}/z_{e2}=2.0$ 일 때의 성능을 해석한 결과이다. 여기서  $z_{b1}$ ,  $z_{a1}$ ,  $z_{g1}$ ,  $z_{e1}$ ,  $z_{b2}$ ,  $z_{a2}$ ,  $z_{g2}$ ,  $z_{e2}$ 는 기어 b1, a1, g1, e1, b2, a2, g2, e2의 잇수를 의미한다.

2) 순환형 구성 1과 분류형 구성 2의 복합형

Fig. 8에서 4개의 클러치 A, B, C, D가 요구되는 복합형 무단변속기로서 클러치 A, C, D가 왼쪽으로 이동하고 클러치 B가 오른쪽으로 이동하면 동력순환형을 구현하고, 이와 반대방향으로 이동하면 동력분류형을 구현한다. 각종 구성기어의 잇수비가  $z_r/z_s=3.0$ ,  $z_{b1}/z_{a1}=1.0$ ,  $z_{g1}/z_{e1}=2.0$ ,  $z_{b2}/z_{a2}=1.5$ ,  $z_{g2}/z_{e2}=1.0$ 일 때 복합형 무단변속기 성능은 Fig. 9와 거의 동일하다.

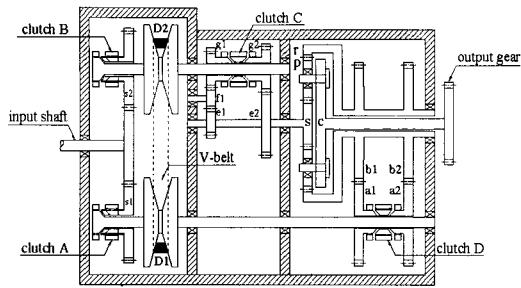


Fig. 8 CVT composed of power circulation 1 and power split 1, 2

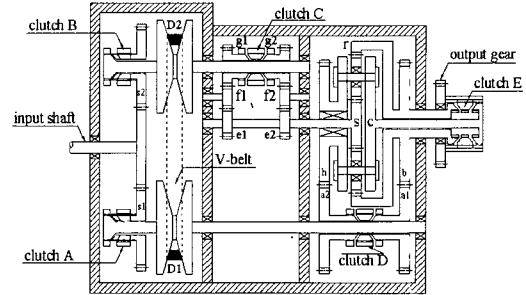


Fig. 10 CVT composed of power circulation 1 and power split 3, 4

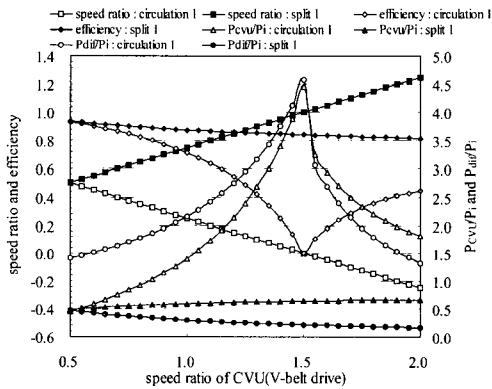


Fig. 9 CVT characteristics composed of power circulation 1 and power split 1

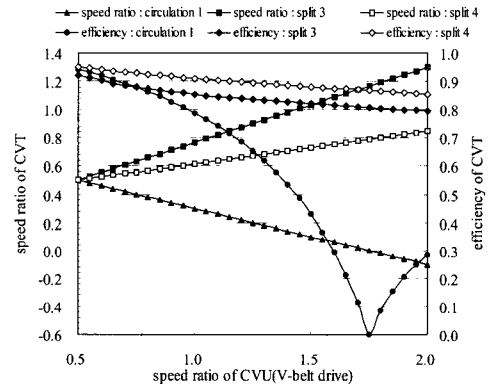


Fig. 11 CVT characteristics composed of power circulation 1 and power split 3, 4

3) 순환형 구성 1과 분류형 구성 3의 복합형

Fig. 10에서 3개의 클러치 C, D, E가 요구되는 복합형으로서 클러치 C, D, E가 오른쪽으로 이동하면 동력순환형을, 왼쪽으로 이동하면 동력분류형을 구현한다. 구성기어의 잇수비가  $z_7/z_8=3.0$ ,  $z_b/z_{a1}=1.0$ ,  $z_{g2}/z_{e2}=2.0$ ,  $z_h/z_{a2}=5.0$ ,  $z_{g1}/z_{e1}=1.4$ 일 때의 성능은 Fig. 9와 거의 동일하다. 유사한 성능에 대해 요구되는 클러치는 3개이지만 일부 기어의 잇수비가 지나치게 커진다는 단점이 있다.

4) 순환형 구성 1과 분류형 구성 4의 복합형

Fig. 10에서 5개의 클러치 A, B, C, D, E가 요구되는 복합형으로서 클러치 A가 왼쪽으로 이동하고 클러치 B, C, D, E가 오른쪽으로 이동하면 동력순환형을, 반대방향으로 이동하면 동력분류형을 구현한다. 구성기어의 잇수비가  $z_7/z_8=3.0$ ,  $z_b/z_{a1}=1.0$ ,  $z_{g2}/z_{e2}=2.0$ ,  $z_h/z_{a2}=2.86$ ,  $z_{g1}/z_{e1}=0.8$ 일 때의 성능은 Fig. 9와 거의 동일하다.

5) 순환형 구성 1과 분류형 구성 3, 4의 복합형

1개의 동력순환형에 2개의 동력분류형을 결합시킨 복합형으로서 도심지에서는 비교적 작은 속도비와 고효율의 분류형을 선택하고, 고속도로에서는 큰 속도비의 분류형을 선택하면 자동차의 경제성을 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다.

Fig. 10에서 5개의 클러치 A, B, C, D, E가 요구되며 클러치 A가 왼쪽으로 이동하고 클러치 B, C, D, E가 오른쪽으로 이동하면 동력순환형을, 이와 반대로 이동하면 분류형 구성 4를 구현한다. 또한 클러치 A, D, E가 왼쪽으로 이동하고 클러치 B와 C가 오른쪽으로 이동하면 분류형 구성 3을 구현한다. 구성기어의 잇수비가  $z_7/z_8=3.0$ ,  $z_b/z_{a1}=1.07$ ,  $z_{g2}/z_{e2}=1.6$ ,  $z_h/z_{a2}=5.71$ ,  $z_{g1}/z_{e1}=1.15$ 일 때 속도비와 효율은 Fig. 11과 같다.

6) 순환형 구성 3과 분류형 구성 1의 복합형

Fig. 12에서 3개의 클러치 C, D, E가 요구되는 복합형으로서 클러치 C, D, E가 왼쪽으로 이동하

면 동력순환형을, 반대방향으로 이동하면 동력분류형을 구현한다. 구성기어의 잇수비가  $z_d/z_s=3.0$ ,  $z_h/z_{a2}=1.6$ ,  $z_{g1}/z_{c1}=2.0$ ,  $z_b/z_{a1}=3.0$ ,  $z_{g2}/z_{c2}=2.0$ 일 때의 성능은 Fig. 13과 같다.

7) 순환형 구성 3과 분류형 구성 2의 복합형

Fig. 12에서 5개의 클러치 A, B, C, D, E가 요구되며 클러치 A, C, D, E가 왼쪽으로 이동하고 B가 오른쪽으로 이동하면 동력순환형을, 이와 반대방향으로 이동하면 동력분류형을 구현한다. 잇수비가  $z_r/z_s=3.0$ ,  $z_h/z_{a2}=1.6$ ,  $z_{g1}/z_{c1}=2.0$ ,  $z_b/z_{a1}=1.5$ ,  $z_{g2}/z_{c2}=1.0$ 일 때의 성능은 Fig. 13과 거의 동일하다.

8) 순환형 구성 3과 분류형 구성 3의 복합형

Fig. 14에서 2개의 클러치 C, D가 요구되는 복합형으로서 클러치 C, D가 오른쪽으로 이동하면 동력순환형을, 이와 반대방향으로 이동하면 동력분류형을 구현한다. 잇수비가  $z_r/z_s=3.0$ ,  $z_{h1}/z_{a1}=5.0$ ,  $z_{g1}/z_{c1}=1.4$ 일 때의 성능은 Fig. 13과 거의 동일하다.

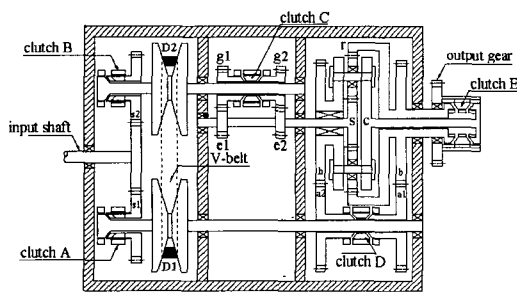


Fig. 12 CVT composed of power circulation 3 and power split 1, 2

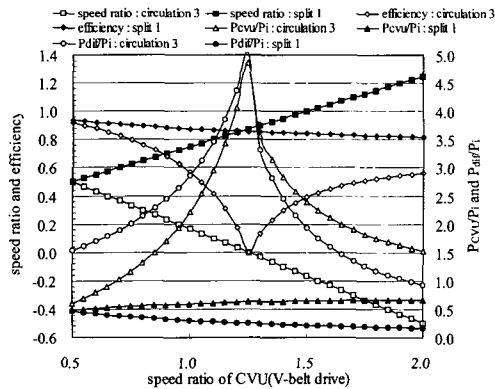


Fig. 13 CVT characteristics composed of power circulation 3 and power split 1

9) 순환형 구성 3과 분류형 구성 4의 복합형

Fig. 14에서 4개의 클러치 A, B, C, D가 요구되며 클러치 B, C, D가 오른쪽으로 이동하고 클러치 A가 왼쪽으로 이동하면 동력순환형을, 이와 반대방향으로 이동하면 동력분류형을 구현한다. 각종 잇수비가  $z_r/z_s=3.0$ ,  $z_{h2}/z_{a2}=1.6$ ,  $z_{g2}/z_{c2}=2.0$ ,  $z_{h1}/z_{a1}=2.86$ ,  $z_{g1}/z_{c1}=0.8$ 일 때의 성능은 Fig. 13과 거의 동일하다.

10) 순환형 구성 3과 분류형 구성 1, 2의 복합형

Fig. 12에서 5개의 클러치 A, B, C, D, E가 요구되며 클러치 A, D, E가 왼쪽으로 이동하고 클러치 B, C가 오른쪽으로 이동하면 동력순환형을, 이와 반대방향으로 이동하면 동력분류형 구성 2가 구현된다. 또한 클러치 A가 왼쪽으로 이동하고 클러치 B, C, D, E가 오른쪽으로 이동하면 동력분류형 구성 1이 구현된다. 잇수비가  $z_r/z_s=3.0$ ,  $z_h/z_{a2}=1.6$ ,  $z_{g2}/z_{c2}=2.0$ ,  $z_b/z_{a1}=3.0$ ,  $z_{g1}/z_{c1}=1.5$ 일 때의 성능은 Fig. 15와 같다.

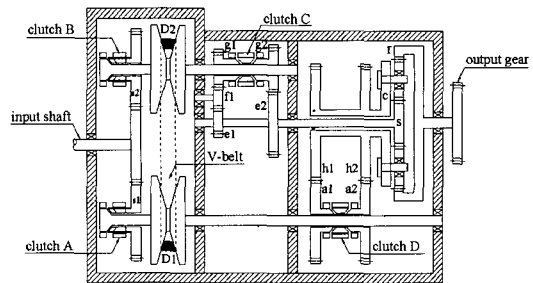


Fig. 14 CVT composed of power circulation 3 and power split 3, 4

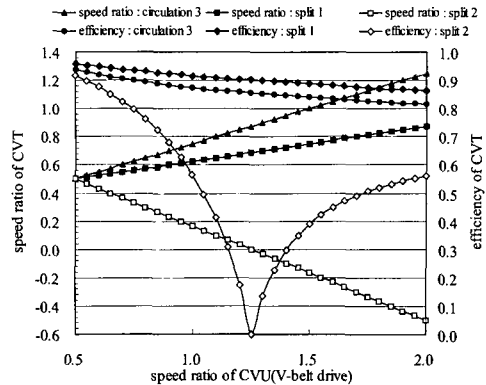


Fig. 15 CVT characteristics composed of power circulation 3 and power split 1, 2

Fig. 9, 11, 15에서 중립점을 기준으로 전진(CVT 속도비>0.0) 부분의 효율은 유사하지만, 후진(CVT 속도비<0.0) 부분은 후진의 변속범위가 큰 순서인 Fig. 15, 9, 11의 순서대로 높게 나타난다. 이는 중립점을 기준으로 후진의 변속범위가 작으면 순환동력을 감소시켜 속도비와 효율이 증대되기 전에 변속범위 한계에 도달하기 때문이다.

#### 4. 무단변속기 특성실험

##### 4.1 실험기의 구성

제안된 복합형 무단변속기의 특성실험은 Fig. 16과 같은 실험기로 수행되었다. 구동용 교류전동기의 용량은 11kW이며, 차동기어장치와 각종 기어열은 압력각이 20° 이고 이끝높이가 모듈(2.5 mm)과 동일한 표준 스퍼기어로 제작되었다. 무단변속기구의 축간거리는 279mm, 가변폴리의 최대 직경은 216mm로 제작되었으며, 0.5~2.0 사이의 변속범위를 갖는다. 입력축과 출력축에 설치되는 토크센서는 0~100Nm, 속도센서는 60~2400rpm의 측정범위를 갖는다. 또한 입력축과 출력축의 토크를 발생시키는 부하장치는 0~100Nm의 용량을 갖는 전자기식 파티클(particle) 브레이크이다. 무단변속기구 벨트장력의 안정화, 차동기어장치 및 기어열에서 치면의 마찰상태, 브레이크의 냉각 등을 위해 각 조건에서 약 30분 정도의 무부하 작동을 수행한 후 특성실험을 수행하였다. 이러한 무부하 작동은 수행된 무단변속기구와 차동기어장치의 효율측정 실험과 동일한 조건이다.

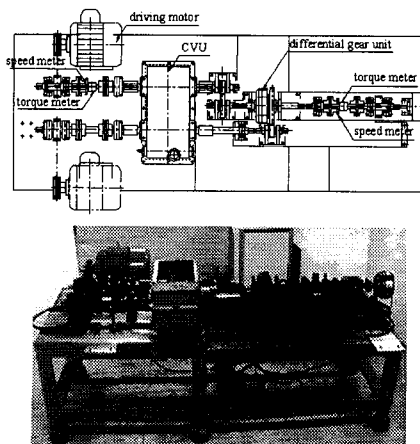


Fig. 16 Schematic drawing and photograph of the test rig

##### 4.2 실험결과

저자의 선행연구<sup>(9,10)</sup>에서 Table 1, 2의 모든 기본구성 이론식에 대한 실험적 연구를 통해 타당성을 검증하였다. 따라서 본 논문에서는 제안된 10가지의 복합형 무단변속기 중에서 다양한 기본구성이 포함될 수 있도록 순환형 구성 1과 분류형 구성 1의 복합형, 순환형 구성 3과 분류형 2의 복합형을 선정하여 효율과 속도비 측정실험을 수행하였다. 실험에 사용된 각종 기어의 잇수는 Table 5와 같으며, 차동기어장치는 잇수가  $z_s=24$ ,  $z_p=24$ ,  $z_r=72$ 인 것을 공통으로 사용하였다.

Fig. 17과 18은 Table 5와 같은 조건 하에서 수행된 2가지 복합형 무단변속기의 효율과 속도비에 대한 실험결과와 이론해석 결과를 비교한 것이다. 효율과 속도비에 대한 실험결과는 각각의 무단변속기구 속도비에서 다소의 분포를 가졌으나 편차는 크지 않았으며, 전반적으로 이론해석결과와 동일한 경향을 갖는 것으로 분석되었다.

또한 Fig. 17에서는 무단변속기구 속도비 1.5, Fig. 18에서는 1.33에서 중립이 발생하였으며, 이는 이론해석과 일치하는 결과이다. 따라서 동력순환형과 동력분류형을 결합하여 제안된 복합형 무단변속기의 타당성은 확인할 수 있었다.

Table 5 Experimental conditions for CVTs

configurations	power circulation	power split
circulation 1 split 1	$z_a=52, z_b=52$	$z_a=26, z_b=78$
	$z_c=23, z_g=46$	$z_c=35, z_g=70$
circulation 3 split 2	$z_a=40, z_h=64$	$z_a=26, z_b=78$
	$z_e=35, z_r=70$	$z_c=42, z_g=63$

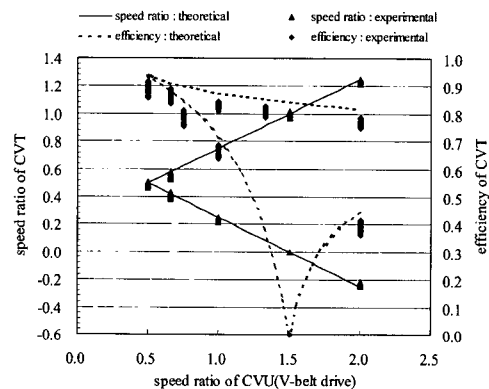


Fig. 17 Experimental and theoretical results for power circulation 1 and power split 1



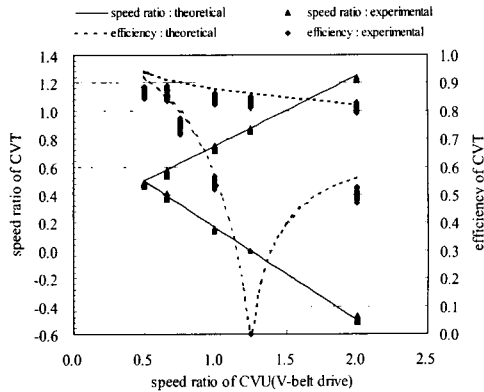


Fig. 18 Experimental and theoretical results for power circulation 3 and power split 2

이론해석 결과와 실험결과와의 차이는 이론해석에서 무단변속기구 효율을 선형보간한 것과 실험기의 각종 틱새 및 손실 등이 복합적으로 작용한 것으로 분석된다. 각각의 조건에 대한 특성실험은 무단변속기구 속도비 당 25회를 실시하였다.

## 5. 결론

V-벨트식 무단변속기구와 2K-H형 I 형식 차동기어장치를 결합하여 제안된 4가지의 동력순환형과 4가지의 동력분류형에 대해 설계 파라미터를 정의하고 특성해석을 수행하여 주요성능의 경향을 제시하였다. 이러한 결과를 이용하여 동력순환형과 동력분류형을 서로 결합시켜 후진, 중립, 전진을 모두 구현할 수 있으면서 고효율과 낮은 동력분담을 특성을 갖는 10가지의 복합형 무단변속기를 제안하였고, 이들 중 2가지에 대한 특성 실험을 수행하여 제안된 복합형 무단변속기의 타당성을 확인하였다. 특히 동력순환형에서 중립점의 위치를 실험을 통해 확인하였다.

## 참고문헌

- (1) 김만식, 최영덕, 1992, "자동차용 무단변속기," 대한기계학회지, Vol. 32, No. 10, pp. 858~866.
- (2) 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.
- (3) White, G., 1967, "Properties of Differential Transmission," *The Engineer*, pp. 105~111.
- (4) Yu, D. and Beachley, N., 1985, "On the Mechanical Efficiency of Differential Gearing," *ASME Journal of Mechanisms, Transmissions and Automation in Design*, Vol. 107, pp. 61~67.
- (5) Zhang, Y. and Leduc, B., 1992, "Efficiency Predetermination of Planetary Trains Used as Continuously Variable Power Transmission," *European journal of Mech. Eng.*, Vol. 37, No. 3, pp. 169~173.
- (6) Wohl, R., Long, T., Mucino, V.H., and Smith, J.E., 1993, "A Model for a Planetary-CVT Mechanism : Analysis and Synthesis," SAE Paper 930065.
- (7) Mucino, V.H. and Smith, J.E., 1994, "Parametric Modeling and Analysis of a Planetary Gear-CVT Mechanism," SAE Paper 940519.
- (8) 兩角宗晴, 岸 佐年, 1997, "差動齒車式 無段變速機의力學的考察," *機械の研究*, 49卷, 5号, pp. 570~578.
- (9) 김연수, 최상훈, 2000, "차동기어장치를 적용한 입력축 연결방식 무단변속기의 동력흐름 및 효율해석에 관한 연구," 한국정밀공학회지, 제17권, 제11호, pp. 141~150.
- (10) 최상훈, 김연수, 2000, "차동기어장치를 적용한 출력축 연결방식 무단변속기의 특성해석에 관한 연구," 한국정밀공학회지, 제18권, 제3호, pp. 205~216.
- (11) Roberts, R.W., 1984, "Continuously Variable Transmission with Synchronous shift," US Patent No. 4589303.
- (12) Macey, J.P., 1986, "Geared-Neutral Continuously Variable Transmission," US Patent No. 4644820.
- (13) Hanachi, S., 1990, "A Study of the Dynamics of a Split-Torque, Geared-Neutral Transmission Mechanism," *Journal of Mechanical Design*, Vol. 112, pp. 261~270.
- (14) 岸佐年, 兩角宗晴, 古川豊, 三澤弘, 宮田博文, 1992, "ハイポサイクロイド型 差動齒車式 無段變速機の研究," *自動車技術會論文集*, 23卷, 2号, pp. 91~96.
- (15) 김연수, 최성욱, 최상훈, 2000, "2K-H형 유성기어장치의 효율해석에 관한 연구," 한국정밀공학회지, 제17권, 제3호, pp. 200~207.