

K-H-V형 차동기어장치와 V-벨트식 기구를 결합한 무단변속기의 설계

김연수* (한국철도기술연구원), 박재민, 정찬길(건국대 대학원), 최상훈(건국대 기계항공공학부)

Design of CVT Composed of a K-H-V type Differential Gear Unit and a V-Belt Drive

Y. S. Kim(KRRI), J. M. Park, C. K. Jeong(Graduate School of Konkuk Univ.), S. H. Choi(Konkuk Univ.)

ABSTRACT

Continuously variable transmission(CVT) mechanisms considered here combine the functions of a K-H-V type differential gear unit and a V-belt type continuously variable unit(CVU). As combining the functions of a K-H-V type differential gear unit and a V-belt type CVU, 24 different mechanisms are presented. Some useful theoretical formula related to speed ratio, power flow and efficiency are derived and analyzed. These mechanisms have many advantages which are the decrease of CVT size, the increase of overall efficiency, the extension of speed ratio range, and the generation of geared neutral.

Key Words : Continuously variable transmission(무단변속기), Input coupled(입력축 연결), Output coupled(출력축 연결), Power circulation(동력순환), Power split(동력분류)

1. 서 론

무단변속기에는 다양한 종류의 기구가 개발되어 사용되고 있으나, 이들 대부분은 자체적으로 중립을 구현할 수 없거나 동력전달 효율과 수명 측면에서 기존의 기어변속기보다 불리한 단점을 가지고 있다. 이러한 단점을 극복하기 위해 기존의 무단변속기에 차동기어장치를 결합시킨 형태의 무단변속기에 대한 연구가 진행되었고, 이러한 형태는 무단변속기의 소형 및 경량화 설계를 가능하게 하였고 동력전달 효율의 증대 및 변속 범위의 확대, 그리고 중립의 생성과 출발장치를 요구하지 않는 등 많은 장점을 갖는 것으로 분석되었다[1-10].

구조가 단순하고 설계제작이 용이하여 많은 실용화 실적이 있는 V-벨트식 무단변속기구는 차동기어장치와 결합된 무단변속기에 적용되어 많은 연구가 진행되었다[4-10]. 저자는 V-벨트식 무단변속기구에 2K-H I형식 차동기어장치를 결합시켜 입력축 연결방식과 출력축 연결방식에 대한 다수의 기본구성들을 제안하였다. 또한 제안된 구성에 대해 효율, 동력흐름 및 동력분담율, 속도비의 이론식을 유도하고 실험을 통해 검증하였다[8-10].

본 논문에서는 K-H-V형 차동기어장치와 V-벨트식 무단변속기구를 입력축 연결방식과 출력축 연결방식으로 결합시킨 24가지 구성을 제안하고, 각각의 구성에 대한 속도비, 동력전달효율, 동력흐름에 대한 이론식을 제안하였다. 또한 동력흐름에 대한 정량적 기준을 제시하였고, 제안된 무단변속기에 대한 특성 해석을 수행하였다.

2. 주요 구성요소

2.1 V-벨트식 무단변속기구

V-벨트식 무단변속기구는 Fig. 1과 같이 구동축과 종동축 가변풀리의 회전반경을 동시에 변화시킴으로써 속도비를 연속적으로 변화시킬 수 있다.

2.2 K-H-V형 차동기어장치

K-H-V형은 Fig. 2와 같이 내접기어인 링기어 r과 외접기어인 유성기어 p, 캐리어 c, 그리고 링기어와 동심축인 s로 구성된다. 또한 링기어와 유성기어의 물림효율(η_m)을 기본효율(η_0)로 정의한다[11].

$$\eta_0 = \eta_m \tag{1}$$

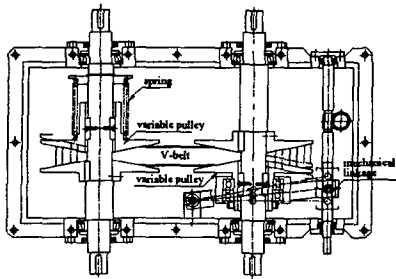


Fig. 1 V-belt type continuously variable unit

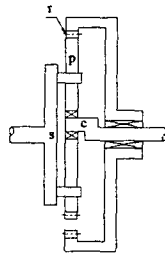


Fig. 2 K-H-V type differential gear unit

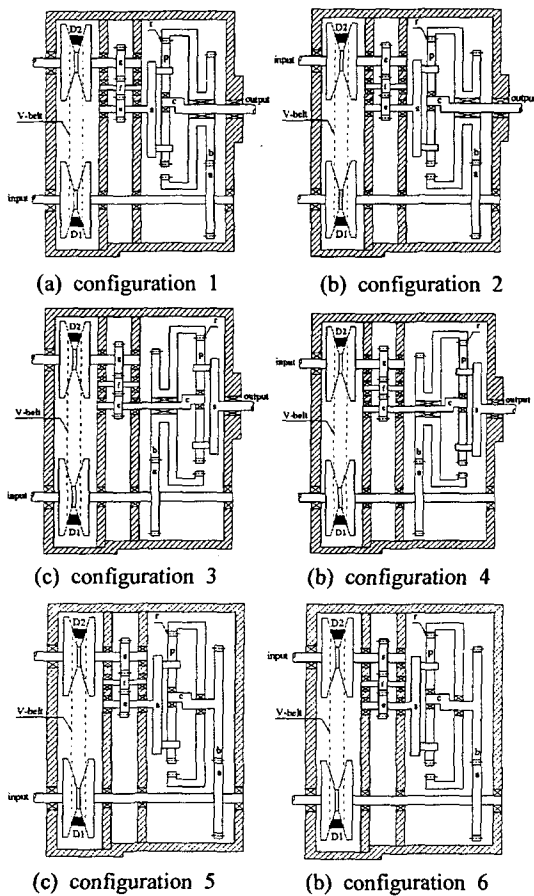


Fig. 3 Input coupled type configurations composed of V-belt type CVU and differential gear unit

3. 기본구성 및 이론식의 유도

3.1 기본구성

V-벨트식 무단변속기과 K-H-V형 차동기어장치를 서로 연결하는 방법은 입력축 연결방식 6가지, 출력축 연결방식 6가지가 가능하다.

입력축 연결방식의 기본구성은 Fig. 3과 같으며, 각각의 구성은 아이들러 기어 f 의 유무에 따라 유성기어 p 와 링기어 r 의 회전방향과 동력흐름이 변화하므로 입력축 연결방식의 기본구성은 실제 12가지가 된다. 출력축 연결방식의 경우는 입력축 연결방식의 입력축과 출력축이 서로 뒤바뀌는 형태이며, 마찬가지로 아이들러 기어 f 의 유무에 따라 동력흐름이 변화하므로 실제 기본구성은 12가지가 된다.

3.2 기본구성의 이론식

기본구성의 속도비, 효율, 동력흐름 및 동력분담율에 대한 이론식의 유도는 실험적으로 증명된 저자의 선행연구[8-10]와 동일한 방법으로 수행되었다.

4. 무단변속기의 특성해석

4.1 설계 파라미터

기본구성의 속도비, 효율, 동력분담율의 특성은 K-H-V형 차동기어장치의 기본속도비($i_0 = z_r/z_p$), 기어비 z_b/z_a , z_g/z_c 에 의해 변화한다. 따라서 이들 3가지 변수를 설계 파라미터로 정의하고, Table 1과 같은 조건으로 특성해석을 수행한다. 또한 특성해석에 사용된 각종 구성요소의 효율은 Table 2와 같다[8-10].

Table 1 Parameter ranges for parametric analysis

parameters	ranges	remarks
z_r/z_p	2.0~4.0	$z_b/z_a = 2.0$ $z_g/z_c = 1.0$
z_b/z_a	1/3~3.0	$z_r/z_p = 3.0$ $z_g/z_c = 1.0$
z_g/z_c	1/3~3.0	$z_r/z_p = 3.0$ $z_b/z_a = 2.0$

Table 2 Efficiencies of gears and the CVU

K-H-V type differential gear unit & gear trains	
$\eta_{tp} = \eta_{cf} = \eta_{fg} = \eta_{cg} = \eta_{ab} = 0.982$	
V-belt type 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

4.2 입력축 연결방식의 특성

동력순환형은 Fig. 4와 같이 속도비가 0이 되는 중립점을 기준으로 회전방향이 변환하므로 그 자체만으로 후진, 중립, 전진을 모두 구현할 수 있으나 높은 효율을 일정하게 유지하지 못하고, 높은 동력분담율을 가지므로 소형, 경량화 설계가 곤란하며 각종 부품의 내구성에 문제점을 발생시킬 수 있다. 또한 Fig. 5와 같이 중립점에서는 출력되는 동력은 없고, 모든 동력이 내부에서 순환하므로 무단변속기구의 동력분담율(P_{cvu}/P_i)과 차동기어장치의 동력분담율(P_{dif}/P_i)은 중립점에서 최대값을 갖는다. 따라서 최대 동력분담율의 위치는 중립점의 위치, 효율과 속도비가 0인 지점과 동일하고 3가지 파라미터에 대해 동일한 경향을 갖는다.

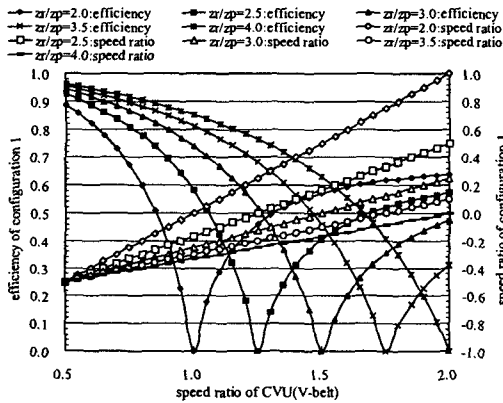


Fig. 4 Efficiencies and speed ratios of input coupled type configuration 1(power circulation) as z_1/z_p

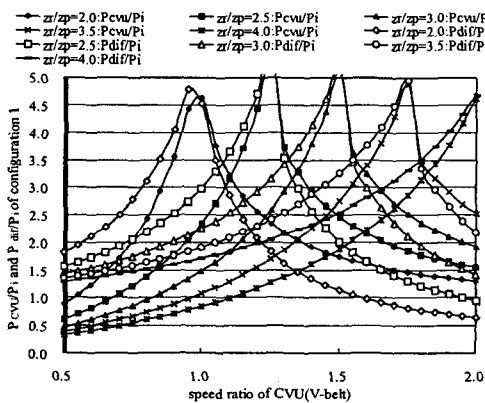


Fig. 5 Power ratios of input coupled type configuration 1(power circulation) as z_1/z_p

동력분류형은 Fig. 6, 7과 같이 동력순환형에 비해 높은 효율을 유지하며, 동력분담율이 낮은 특성

을 갖지만 자체적으로 중립의 생성이 불가능하다는 것이 큰 단점이다. 동력분류형에서는 무단변속기구와 차동기어장치의 동력분담율 합이 1의 값을 가져야 하지만 각종 동력손실로 인해 효율과 거의 비슷한 값을 갖는다. 또한 무단변속기구보다 효율이 높은 차동기어장치의 동력분담율은 효율과 동일한 경향인 반면 무단변속기구의 경우는 효율과 반대되는 경향을 갖게 된다.

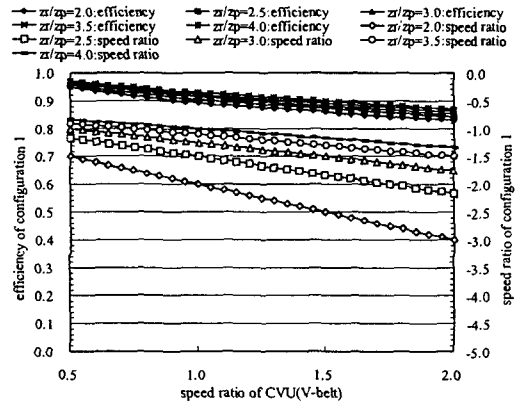


Fig. 6 Efficiencies and speed ratios of input coupled type configuration 1(power split) as z_1/z_p

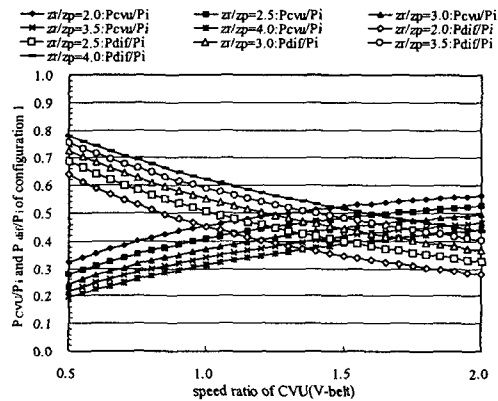


Fig. 7 Power ratios of input coupled type configuration 1(power split) as z_1/z_p

4.3 출력축 연결방식의 특성

출력축 연결방식의 동력순환형은 Fig. 8과 같이 입력축 연결방식의 중립점에 해당되는 부근에서 무한대로 발산하는 쌍곡선 형태의 속도비와 매우 큰 동력분담율을 가지며, 출력축의 회전방향이 변환하는 상당히 넓은 영역에서 효율이 0이 된다. 따라서 출력축 연결방식의 동력순환형은 무단변속기로서 사용하기가 곤란하다.

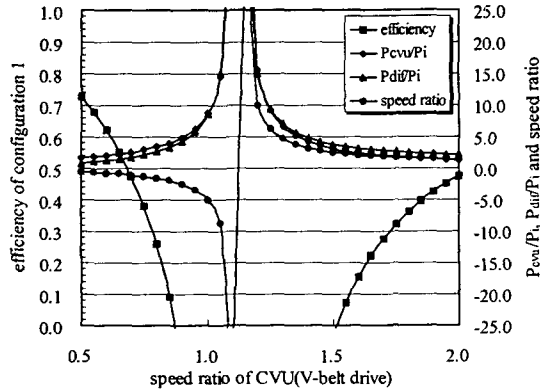


Fig. 8 Characteristics on the output coupled CVT (configuration 1 : power circulation)

출력축 연결방식 동력분류형의 효율은 3가지 설계 파라미터에 대해 입력축 연결방식의 경우와 거의 동일한 경향을 갖는다. 그러나 입력축 연결방식에 비해 무단변속기구의 속도비 변화에 대해 거의 일정한 효율을 갖는 특징을 갖는다. 따라서 역회전이 필요하지 않고 무단변속이 요구되는 기계에 출력축 연결방식의 동력분류형을 사용하면 전체 변속범위 내에서 매우 일정한 효율을 구현할 수 있을 것으로 분석된다. 또한 입력축 연결방식의 효율과는 달리 무단변속기구의 차동기어장치의 동력분담율과 거의 무관한 독립적인 경향을 갖는다.

5. 결 론

V-벨트식 무단변속기구의 K-H-V형 차동기어장치를 결합하여 입력축 연결방식에 대한 12가지 기본 구성과 출력축 연결방식에 대한 12가지 기본 구성을 제안하고, 각각의 속도비, 효율, 동력흐름, 동력분담율에 대한 이론식을 유도하였다. 또한 제안된 기본 구성에 대해 설계 파라미터를 정의하고 특성해석을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 입력축 연결방식의 동력순환형은 후진, 중립, 전진이 모두 가능하지만, 구성요소의 동력분담율이 높고 전체 변속구간 내에서 고효율을 유지하기 곤란하다. 반면 동력분류형은 변속구간 내에서 구성요소의 동력분담율이 낮고 높은 고효율을 유지할 수 있지만, 중립과 후진을 구현할 수 없다.

2) 출력축 연결방식의 동력순환형은 정회전과 역회전의 구현이 모두 가능하지만 회전방향의 변환지점에서 속도비가 크게 증가하고 불연속이 되며, 구성요소의 동력분담율이 크게 증가하므로 무단변속기로 활용할 수 없다. 동력 분류형은 입력축 연결방식과 유사한 특성을 갖는다.

3) 동력분류형을 사용할 경우 전체 변속구간에서 무단변속기구의 속도비에 따라 변화가 적은 출력축 연결방식을 사용하는 것이 유리하다.

참고문헌

1. N.H.Beachley, A.A.Frank, 1980, "Principles and Definitions for Continuously Variable Transmissions with Emphasis on Automotive Application." ASME Paper 80-C2/DET-95.
2. R.H.Macmillan, 1961, "Power Flow and Loss in Differential Mechanisms," Journal of Mechanical Engineering Science, Vol. 3, No. 1, pp. 37-41.
3. G.White, 1967, "Properties of Differential Transmission," The Engineer, pp.105-111.
4. D.Yu, N.Beachley, 1985, "On the Mechanical Efficiency of Differential Gearing," ASME Journal of Mechanisms, Transmissions and Automation in Design, Vol.107, pp.61-67.
5. R.Wohl, T.Long, V.H.Mucino, and J.E.Smith, 1993, "A Model for a Planetary-CVT Mechanism : Analysis and Synthesis," SAE Paper 930065.
6. V.H.Mucino and J.E.Smith, 1994, "Parametric Modeling and Analysis of a Planetary Gear-CVT Mechanism," SAE Paper 940519.
7. 兩角宗晴, 岸 佐年, 1997, "差動齒車式 無段變速機の力學的考察," 機械の研究, 49卷, 5号, pp.570-578.
8. 김연수, 최상훈, 2000, "차동기어장치를 적용한 입력축 연결방식 무단변속기의 동력흐름 및 효율 해석에 관한 연구," 한국정밀공학회지, 제17권, 제11호, pp.141-150.
9. 최상훈, 김연수, 2000, "차동기어장치를 적용한 출력축 연결방식 무단변속기의 특성해석에 관한 연구," 한국정밀공학회지, 제18권, 제3호, pp.205-216.
10. 김연수, 2002, "V-벨트 기구와 차동기어장치를 이용한 복합형 무단변속기의 설계," 건국대학교 박사학위논문.
11. 김연수, 최성욱, 최상훈, 2000, "2K-H형 유성기어장치의 효율해석에 관한 연구," 한국정밀공학회지, 제17권, 제3호, pp.200-207.