

HEV의 새로운 분류방법과 새로운 형태의 HEV

전 성준, 박 한석, 이 원창, 노 의철, 김 인동, 김 만고
부경대학교

A New Classification of HEV's and a New Breed of HEV's

Seong-Jeub Jeon, Han-Seok Park, Won-Chang Lee, Eui-Cheol Noh, In-Dong Kim, Man-Go Kim
Pukyong National University

Abstract - In this paper HEV's are newly classified and a new breed of HEV's, which is called series-parallel compensated configuration, is also presented. In this configuration the engine can be operated on constant-speed and constant-torque mode, while the power converter can be small-sized.

1. 서 론

도시공해는 많은 부분이 자동차로 인해 발생하는 것으로 알려져 있다. 자동차의 배기가스 공해를 해결하는 방안으로 전기자동차가 연구되었고 미국 캘리포니아주는 전기자동차의 판매를 법적으로 강요하고 있다. 그러나 전기자동차는 그 구성의 핵심인 배터리가 아직까지 만족할 만한 진전을 보지 못하였고 필수적인 산업기반시설인 충전소의 설치에 엄청난 재원이 필요하여 상용화에 어려움이 많다. 그 대체 방안으로 엔진과 전기계통을 동시에 두고 배터리의 의존성을 크게 줄인 하이브리드전기자동차(HEV: Hybrid Electric Vehicle)가 연구되어 상용화를 눈앞에 두고 있다[1,2]. HEV 연구에 있어서는 기계적 동력전달에 많은 관심을 가지고 전기계통은 별다른 관심을 끌지 못하였다. 현재까지는 병렬구조와 직렬구조 둘로 나누어 연구를 해 왔다. 직렬구조란 바퀴에 필요한 동력을 전동기로부터만 얻는 구조이고 병렬구조란 양쪽에서 다 얻을 수 있는 구조를 말한다. 그런데 이 분류는 적절하지 못한 것 같다. 이에 새로운 분류법을 제시하고 나아가 새로운 구조의 HEV를 제안하였다. 새로운 구조로 제안된 직병렬 보상형에서는 엔진의 정속-정토크 운전이 가능하고, 에너지전달 단계가 비교적 간단하여 운전효율이 높고 전력변환장치의 크기를 줄일 수 있다.

2. 본 론

2.1 HEV의 새 분류

1차 에너지원(엔진)에서 바퀴까지 에너지가 전달되는 과정 중 에너지가 어떻게 변환되는가 또는 어떻게 합성되는가 하는 관점에서 HEV를 분류하면 병렬보상구조(Parallel compensation configuration), 종속접속구조(Cascaded configuration), 직렬보상구조(Series compensation configuration)와 직병렬보상구조(Series-parallel compensation configuration)로 나눌 수 있다. 설명의 편의상 감속기어를 생략하여 설명하면 다음과 같다.

2.2 병렬보상구조

그림 1.2와 같이 구성하면 바퀴와 엔진과 전동기가 동일한 속도로 운전되고 전동기는 부족하거나 여분의 토크를 제어(보상)한다. 토크 보상 구조라 부를 수 있다. 엔진의 정토크 운전이 가능하다. 회로적으로는 그

림 3과 같이 표현할 수 있다.

2.2.1 gear에 의한 병렬보상

그림 1과 같이 gear를 이용하면 쉽게 엔진과 전동기의 토크를 합성할 수 있다. 바퀴 축에서 필요한 최대 토크를 엔진과 전기계통이 나누어 공급하므로 바퀴 축에서 필요로 하는 것보다 작은 엔진과 전동기구동장치로 계통을 설계할 수 있다.

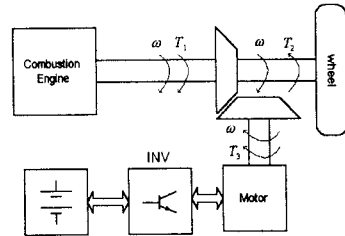


그림 1 기어에 의한 병렬보상

2.2.2 전동기의 직접 접속에 의한 병렬 보상

전동기의 회전축을 엔진과 바퀴 사이에 연결하여 구성한다. 전력변환 장치로 전동기 내에서 직접 토크를 가감할 수 있다.

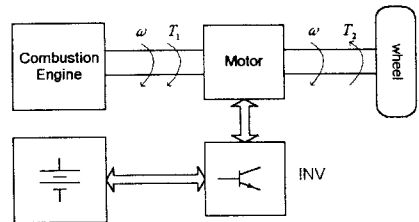


그림 2 전동기 직접 접속에 의한 병렬 보상

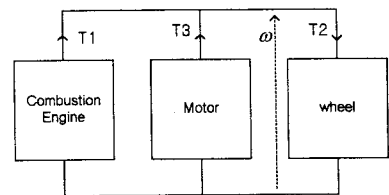


그림 3 병렬 보상 구조의 등가회로

2.3 종속접속 구조

그림 4에서와 같이 엔진과 바퀴가 기계적으로 단절되어 있는 경우는 전체 에너지가 엔진에서 발전기, 발전기에서 전력변환기, 전력변환기에서 DC 축, DC 축에서 전력변환기, 전력변환기에서 전동기로 전달되어, 바퀴축에 필요한 동력 전체를 전동기가 공급한다. 일반적으로는 Series 형으로 알려져 있다. 엔진의 정속-정토크 운전이 가능하여 엔진을 고효율로 운전할 수 있다. 그러나 전동기 및 전동기 구동장치의 크기가 다른 방식에 비해 커지며 에너지 변환 단계가 복잡하여 종합효율의 저감이 예상된다.

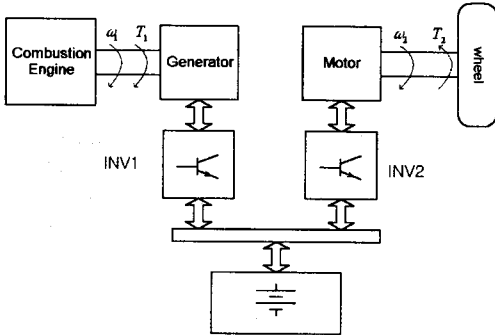


그림 4 종속접속 구조

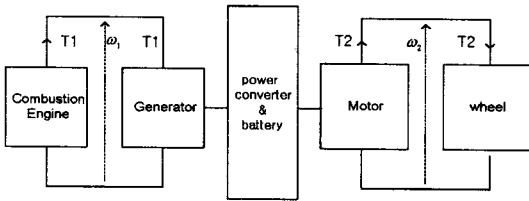


그림 5 종속접속구조의 등가회로

2.4 직렬보상구조

그림 6에서의 전동기의 두 권선이 회전할 수 있도록 설계하여 (3) 내측 회전자와 외측 회전자를 자기 엔진과 바퀴에 접속하면 엔진과 바퀴 축과의 속도 차를 보상하는 직렬보상구조를 만들 수 있다. 속도 차를 보상하므로 속도 보상 구조라 할 수 있다. 바퀴와 엔진과 전동기가 동일한 토크로 운전되고 전동기는 속도 차를 제어(보상)한다. 엔진의 정속운전이 가능하다. 바퀴자체를 전동기의 외부 회전자로 제작할 수 있다(4).

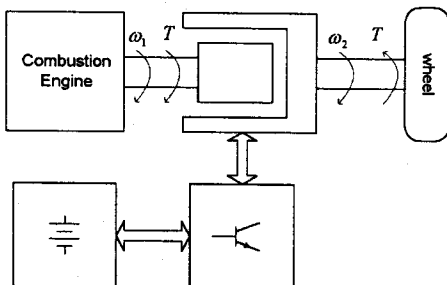


그림 6 직렬 보상 구조

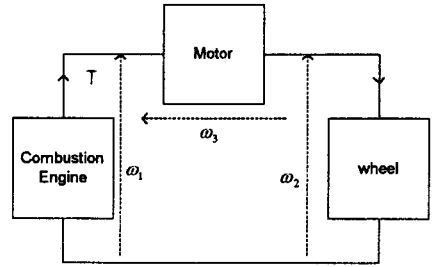


그림 7 직렬보상구조의 등가회로

2.5. 직병렬 보상 구조

그림 8,9,10에서와 같은 구조를 하면 발전기-전동기 셀이 엔진-바퀴의 속도차와 토크차를 동시에 보상할 수 있어 토크-속도 보상 구조라 할 수 있다. 이 경우 엔진은 정속-정토크 운전이 가능하다. 엔진은 정속-정토크 운전을 하여 고효율로 운전이 되며 전력변환 장치는 일부의 에너지만을 처리하므로 크기를 줄일 수 있고 운전효율도 높아진다.

2.5.1 별개의 발전기-전동기 셀에 의한 방식

그림 8의 구조는 그림 4의 종속 구조에서 에너지가 두 단의 전력변환장치를 거치던 것을 발전기에서 직접 전동기로 전달되도록 구조를 변경한 것으로 두 고정자 권선과 전력변환장치는 병렬로 연결되고 전력변환장치에는 두 권선의 차전류가 흐른다. 고정자에 연결된 전력변환 장치는 토크 차를 보상하고 전동기의 회전자에 연결된 전력변환 장치는 바퀴 축과 엔진의 속도 차이를 보상한다. 회로적으로는 그림 11과 같이 나타낼 수 있다.

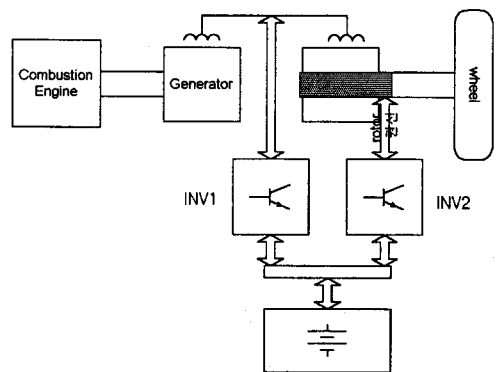


그림 8 두 고정자 권선의 병렬 접속에 의한 직병렬 보상구조

2.5.2 일체화된 발전기-전동기 셀에 의한 방식

그림 9는 그림 8에서의 전동기-발전기 셀을 제작 당 시부터 하나의 틀로 만든 것으로 그림 9의 것보다 효율을 약간 더 높일 수 있다. 그 외에는 제어를 비롯한 모두 것이 그림 8의 것과 동일하다.

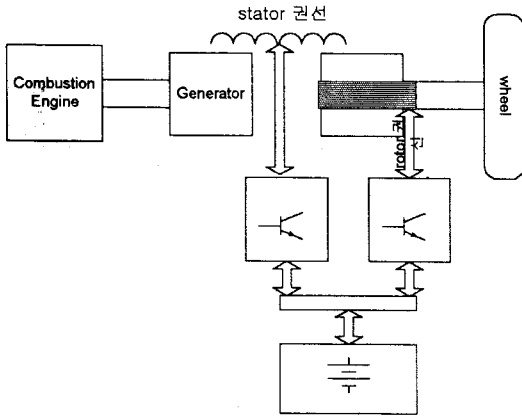


그림 9 고정자권선을 공유하는 발전기-전동기 셀에 의한 직병렬 보상 구조

2.5.3 2 회전자 + 1 고정자 전기기기에 의한 방식

2 회전자 + 1 고정자 기기는 잘 알려지지 않은 전기기기로 그림 10과 같이 2개의 회전자와 1 개의 고정자를 가지고 있고 그림 9의 발전기-전동기 셀을 한 단계 발전시킨 기기로 볼 수 있다. 또한 그림 6의 구조에 고정자를 하나 더 둔 것으로 볼 수 있다. 이 기기는 1 대만으로 엔진을 정토크-정속도 운전을 하면서 축에너지는 엔진에서 바퀴축으로 직접 전달될 수 있다. 이 기기는 엔진과 바퀴의 속도 차와 토크 차를 동시에 보상할 수 있다.

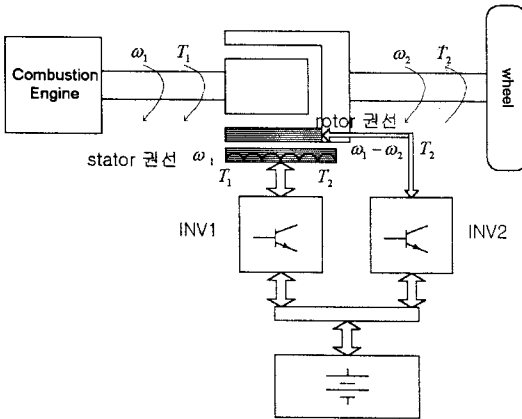


그림 10 2 회전자 기기에 의한 직병렬 보상 구조

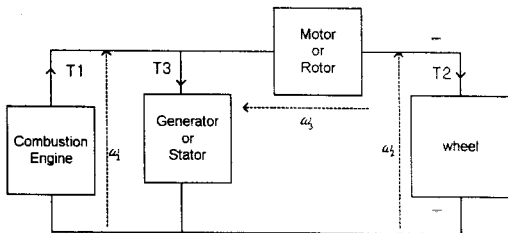


그림 11 직병렬 보상 구조의 등가회로

2.6 직병렬 보상형 구조에서의 동작

2.6.1 전동기 단독 동작 모드

엔진은 동력을 공급하지 않는 상태로 운전이 가능하다. 이 때는 1 회전자 기기와 동일한 방식으로 동작하여 바퀴로부터 동력을 흡수하거나 바퀴에 동력을 공급할 수 있다. 또한 바퀴를 고정시킨 상태로 전동기로 엔진 축을 회전시킬 수 있다. 엔진의 기동시에는 이 모드로 적정 회전수까지 속도를 낸 후 기동을 시키면 소프트 스타트가 가능하다.

2.6.2 직병렬 보상모드

직병렬보상 모드에서는 엔진과 전력변환 장치가 협조하여 바퀴 축에 필요한 속도와 토크를 만든다. 엔진의 출력력을 P_1 이라 하고 바퀴의 출력력을 P_2 라 하자.

$$P_1 = \omega_1 T_1 \quad (1)$$

$$P_2 = \omega_2 T_2 \quad (2)$$

내부 회전자가 영구자석으로 구성되어 있다면 고정자 권선에는 각주파수가 ω_1 이 교류가 발생하고 그 전압은 ω_1 에 비례한다. 또한 엔진의 출력 토크 T_1 에 상당하는 전류와 외부 회전자에 필요한 토크 T_2 에 상당하는 전류가 흐른다. 고정자로 유입되는 전력 P_{st} 은 식 (3)으로 주어진다. T_1 을 T_2 의 반으로 설계하면 최대 축출력의 반에 상당하는 전력변환기를 INV1에 사용하면 된다.

$$P_{st} = \omega_1(T_1 - T_2) \quad (3)$$

외부회전자는 각주파수 ω_2 로 회전하므로 전기각주파수가 $\omega_1 - \omega_2$ 인 교류를 인가하여야 한다. 또한 이 교류의 크기는 $\omega_1 - \omega_2$ 에 비례한다. 바퀴 축에 필요한 토크가 T_2 인데 이에 비례하는 전류가 흐르게 된다. 그래서 외부 회전자로 유입되는 전력 P_{rt} 은 식 (4)로 주어지고 ω_2 를 ω_1 의 2배의 범위까지 변화시키면 INV2도 INV1의 크기로 설계할 수 있다.

$$P_{rt} = (\omega_1 - \omega_2)T_2 \quad (4)$$

배터리에 유입되는 전력 P_{el} 은 식 (5)로 주어진다.

$$P_{el} = P_{st} + P_{rt} = \omega_1(T_1 - T_2) + (\omega_1 - \omega_2)T_2 \quad (5)$$

P_{el} 이 영이면 $T_1\omega_1 = T_2\omega_2$ 로 되고 이는 무단변속기어로 동작됨을 나타낸다. 이와 같이 엔진의 출력력과 바퀴 축출력이 같을 경우의 각속도와 토크를 $\omega_1^s, \omega_2^s, T_1^s, T_2^s$ 라 두자. 이 경우 고정자에서 전력변환 장치, 전력변환장치에서 외부 회전자로 순환하는 전력을 P_{cir} 라 하면

$$P_{cir} = \omega_1^s(T_1^s - T_2^s) = P_1^s \left(1 - \frac{T_2^s}{T_1^s}\right) \quad (6)$$

$$= -(\omega_1^s - \omega_2^s)T_2^s = \left(1 - \frac{\omega_1^s}{\omega_2^s}\right)P_2^s$$

엔진과 바퀴의 회전수 차이나 토오크 차이가 작으면 순환하는 전력은 아주 작아지므로 운전 효율이 높아진다. 그림 12(a), (b)에 이 경우의 에너지의 흐름을 그려두었다.

엔진의 출력과 부하가 같지 아니하면 배터리로부터 에너지가 유출되거나 배터리에 유입된다. 바퀴 축에서 필요로 하는 토오크가 ΔT 만큼 남을 경우.

$$P_2 = \omega_2(T_2 - \Delta T) \quad (7)$$

$$P_{el} = \omega_1(T_1 - (T_2 - \Delta T)) + (\omega_1 - \omega_2)(T_2 - \Delta T) \\ = \omega_1 \Delta T + (\omega_1 - \omega_2) \Delta T \quad (8)$$

$$= P_{ex1} + P_{ex2}$$

여기서,

$$P_{ex1} = \omega_1 \Delta T \quad (9)$$

$$P_{ex2} = (\omega_1 - \omega_2) \Delta T \quad (10)$$

P_{ex1} 는 고정자에서 전력변환 장치로 P_{ex2} 는 회전자에서 전력변환 장치로 유입되는 전력이다. 그림 12(c), (d)는 바퀴에서의 축출력이 엔진의 축출력보다 작아 배터리를 충전하는 경우의 에너지 흐름을 보여주고, (e), (f)는 가속시에 엔진의 출력보다 출력축에 더 큰 동력이 필요한 경우의 에너지 흐름을 보여준다.

이상에서 검토한 바와 같이 감속기어등을 적절히 설계하여 두 회전자의 회전수를 비슷하게 유지하면 전력변환 장치의 크기를 크게 줄일 수 있고 효율을 높일 수 있다.

3. 결 론

본 논문에서는 HEV의 새로운 분류법을 제안하였고 나아가 직병렬 보상형 HEV를 제안하였다. 직병렬 보상형 HEV는 운전효율을 높일 수 있으며 전력변환 장치의 크기를 줄일 수 있다. 본 논문에서 제안한 직병렬 보상 구조는 HEV 연구에 새 개념을 제공하여 발전에 크게 기여할 것으로 기대된다.

(참 고 문 헌)

- [1] C.C. Chan and K.T. Chau, "An overview of Power Electronics in Electronic Vehicles", IEEE Trans. Ind. Elect., Vol. 44, No. 1, pp3-13, 1997
- [2] D. Hermance and S. Sasaki, "Hybrid Electric Vehicles take to the streets", IEEE, Spectrum, pp48-52, Nov. 1998
- [3] A. Kawamura, N. Hoshi, T.W. Kim, T. Yokoyama and T. Kume, "Analysis of Anti-Directional-Twin Rotary Motor Drive Characteristics for Electric Vehicles", IEEE Trans. Ind. Elec. Vol. 44, No. 1, pp64-70, 1997
- [4] M. Terashima, T. Ashikaga, T. Mizuno, K. Natori, N. Fujiwara and M. Yada, "Novel Motors and Controllers for High-Performance Electric Vehicle with Four In-Wheel Motors", IEEE Trans. Ind. Elect., Vol. 44, No. 1, pp28-38, 1997

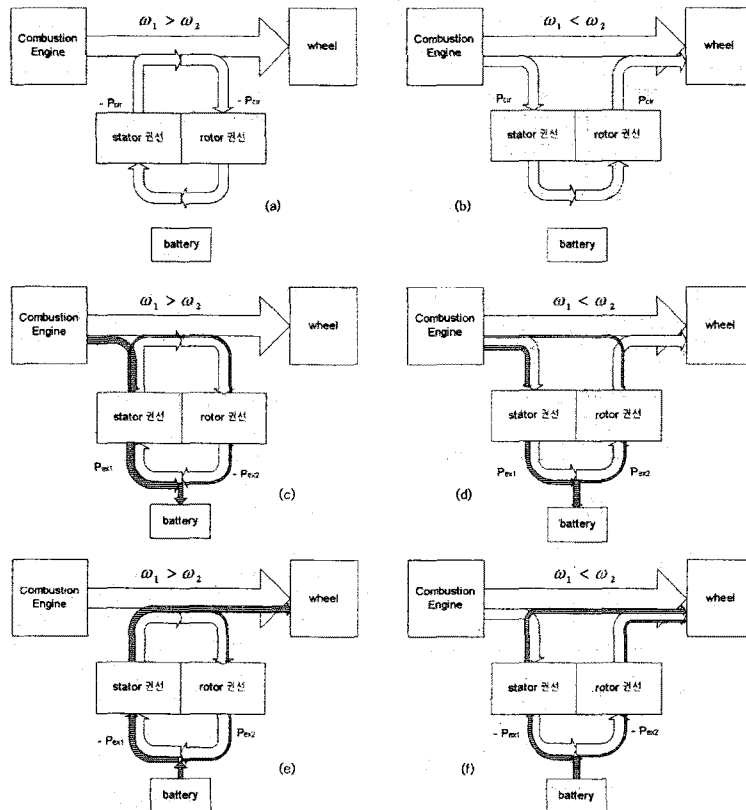


그림 12 직병렬 보상 구조의 에너지 흐름도