

하이브리드 전기 자동차의 동력전달 메커니즘 개선에 관한 연구

최 창 원, 전 순 용
 동양대학교 정보대학원 제어계측공학

STUDY ON IMPROVEMENT OF POWER TRAIN MECHANISM FOR HYBRID ELECTRIC

Chang-won Choi, Soon-yong Chun
 Dept. of Control & Instrumentation Engineering, Graduate School of information Dongyang U

Abstract - Growing environmental and economic concerns have lead to recent efforts to produce more fuel efficient and lower emissions vehicles. Hybrid Electric Vehicles(ab. HEVs) are the most promising designs to reach these goals.

In this paper, We present an of a Power Tra the Hybrid Electric Vehicle(ab. PTHEV). We int a different concept of PTHEV than in the pr research of PTHEV. This PTHEV includes benefits of serial(Minimum emission and Max efficiency) and parallel(Maximum Power efficiency by direct drive engine) PTHEV. Also mechanism can avoid driving the engine in th speed regions.

1. 서 론

내연 기관(Internal combustion engine)은 아주 큰 용량의 동력이 발생되지만 유독한 물질이 배출 가스 중에 포함하여 대기 오염이라고 하는 환경 문제가 대두되었다. 따라서 이를 계기로 세계 각 나라들은 전기자동차를 개발하였으나 한번 충전으로 총 운행 거리가 100~200km로 너무 짧고, 충전 시간도 6~8시간 걸린다. 또한 제작비가 많이 들며 충전소 확보 등 기반 시설에 많은 투자가 필요하다. 이를 보완하기 위해 개발된 것이 하이브리드 전기자동차이다.^[1] 현재 일본에서 시판 중인 도요다 자동차의 프리우스 하이브리드 전기자동차(Toyota prius hybrid electric vehicle)는 연비가 3.57 l/100km 이다.^[2] 따라서 하이브리드 전기자동차는 현재 기술에서 가장 실현 가능한 시스템이며 무공해와 가솔린 엔진의 큰 동력을 이용하면서 연비가 훨씬 좋은 새로운 하이브리드 전기자동차의 동력전달 메커니즘을 연구하는 것은 무엇보다도 중요한 과제가 되었다.

특히 동력 전달 메커니즘은 하이브리드 전기자동차를 구성함에 있어서 자동차의 성능과 에너지 효율, 그리고 감속시에 에너지 회수를 등을 좌우하는 중요한 설계 요소이다.^[3] 따라서 현재까지 연구된 동력전달 메커니즘에서 직렬 하이브리드 전기자동차의 장점과 병렬 하이브리드 전기자동차의 장점을 동시에 만족시키는 직·병렬 하이브리드 전기자동차를 기초로 하여 본 논문에서는 보다 더 효율적인 구조와 제어 방식을 갖춘 자동차 동력전달 방식의 연구를 목적으로 한다.

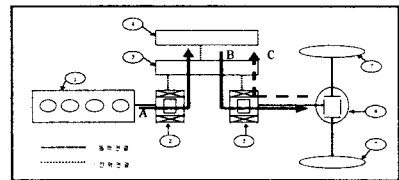
2. 기존 하이브리드 전기자동차의 동력전달 메커니즘과 문제점

2.1 직렬 하이브리드 전기자동차에 있어서 동력전달 메커니즘의 구조와 문제점

동력 전달 경로는 그림 1에서 경로 A와 같이 엔진의 기계 에너지는 발전기에 의해서 전기에너지로 바뀌어지고 축전지에 충전된다. 구동시에는 경로 B와 같이 축전

지의 전기 에너지가 발전기/전동기에 의해서 기계 에너지로 변환되어 바퀴를 구동시킨다. 감속시에는 경로 C와 같이 바퀴의 운동 에너지를 발전기/전동기에 의해서 전기 에너지로 변환되어 축전지에 저장된다.

단점으로는 최대 출력을 내기 위한 발전 시스템이 너무 무겁고, 엔진의 기계 에너지를 전기에너지로 변환하고 다시 기계 에너지로 변환하는 과정에서 손실이 생긴다. 따라서 병렬 하이브리드 전기자동차를 사용할 때보다 효율이 떨어진다.

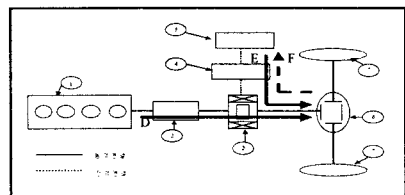


①엔진 ②발전기 ③충전기 ④축전지 ⑤발전기/전동기 ⑥차동장치 ⑦바퀴
 그림 1. 직렬 하이브리드 전기자동차.

2.2 병렬 하이브리드 전기자동차에 있어서 동력전달 메커니즘의 구조와 문제점

동력전달경로는 그림 2에서 두 가지 경로가 있다. 첫째 경로 D와 같이 엔진에서 만들어진 기계 에너지가 직접 바퀴에 전달된다. 둘째는 출발이나 저속과 같이 저 부하에서는 경로 E와 같이 축전지의 전기 에너지가 발전기/전동기를 통하여 차동장치에 입력되어 바퀴를 구동한다. 엔진이 운전 중에 가속이나 오르막길에서 모자라는 구동력은 경로 D와 E가 동시에 작동되어 증가된 구동력으로 주행을 하게 된다. 이때 동력은 엔진에서 시작되는 경로 D와 축전지에서 시작되는 경로 E가 동시에 작동되므로 병렬 하이브리드 전기자동차라 한다. 또한 감속시에는 바퀴의 운동 에너지가 경로 F와 같이 발전기/전동기에서 전기 에너지로 변환되어 축전지에 저장된다.

단점으로는 직렬 하이브리드 전기자동차에 비해 엔진의 ON, OFF가 빈번하여 더 많은 배기물이 배출되고 엔진과 전기 에너지의 동력 전환 방법이 어렵다. 또한 동력 전달경로에서 엔진과 바퀴가 기계적으로 연결되어 있기 때문에 바퀴에 걸리는 부하의 변동에 따라 엔진의 작동 조건이 변한다. 따라서 직렬 하이브리드 전기 자동차의 엔진은 효율이 좋은 일정 속도에서 엔진이 작동되는데 비해 엔진 구동 효율이 떨어진다.

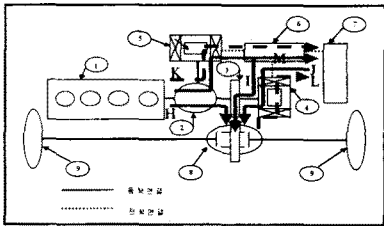


①엔진 ②변속기 ③충전기 ④발전기/전동기 ⑤충전기 ⑥차동장치 ⑦바퀴
 그림 2. 병렬 하이브리드 전기자동차.

2.3 직·병렬 하이브리드 전기자동차에 있어서 동력전달 메커니즘의 구조와 문제점

동력전달경로는 출발할 때와 아주 저속에서는 경로 J와 같다. 보통의 주행에서는 경로 H와 I의 두 가지 경로를 통해 전달된다. 일부는 경로 H와 같이 엔진에서 동력 분할 장치를 거쳐 바뀌로 전달된다. 또 일부는 경로 I와 같이 엔진에서 동력 분할 장치를 거쳐 발전기를 통해 바뀌로 전달된다. 이때 동력 분할은 발전기의 회전수 조절로 나누어지고 남은 전력은 경로 M과 같이 축전지에 저장된다. 가속 시에는 경로 H, I, J와 같이 세 가지 경로를 통해 전달된다. 축전지에 충전을 할 경우는 경로 K에 따라 축전지에 충전된다. 자동차가 신호 대기 및 같이 정차 할 때는 엔진과 전동기 모두 정지한다.

단점으로는 보통의 주행에서 엔진의 동력이 항상 접촉해 있는 발전기를 통해서 전동기로 전달되므로 직접 연결되는 것보다 효율이 떨어지며, 감속이나 제동 시에 전동기를 발전기로 동작시켜서 동력을 회수한다. 이때 전동기에는 엔진과 발전기가 항상 연결되어 있기 때문에 엔진 브레이크의 작용으로 운동 에너지의 회수율이 떨어진다. 그리고 구동력 요구에 따라 한정된 범위 내에서 운전되지만 직렬 하이브리드 전기자동차와 같이 일정한 회전수에서 운전되지 않는다.



①엔진 ②동력 분할 장치 ③최종 구동 기어 ④발전기/전동기 ⑤발전기 ⑥전동기/축전지 ⑦차량장치(바퀴)

그림 3. 직·병렬 하이브리드 전기자동차.

3. 제안된 동력전달 메커니즘을 갖는 직·병렬 하이브리드 전기자동차

3.1 컨트롤 유닛

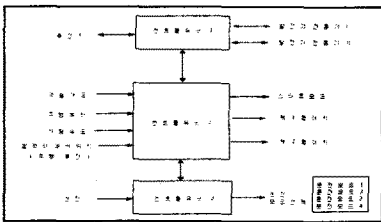


그림 4. 컨트롤 유닛 구성도.

그림 4에서 나타낸 컨트롤유닛 2는 컨트롤유닛 1과 컨트롤유닛 3에 각각 연결되어 있고 이들 사이에서 정보 교환을 각각 행하고 있다. 컨트롤유닛 2에서는 자동차 주행에 필요한 모든 정보를 수집한다. 컨트롤유닛 1에서는 축전지 충전 상태와 자동차 주행 상태에 따라 발전량을 조절하여 바뀌에 전달되는 구동력을 조절하게 된다. 마지막으로 컨트롤유닛 3은 엔진 회전수를 검출하고 컨트롤유닛 2와 연결되어 엔진 구동 모드를 결정한다.

3.2 엔진 시동 순서도

그림 5와 같이 엔진 시동 제어는 차속, 축전지 잔존 용량, 액셀 개도, 주행 부하와 같은 정보를 입력받아 현재 주행에 필요한 구동력을 계산하여 엔진 구동이 필요하지 않으면 구동 전동기 단독으로 주행하고, 엔진 구동

이 필요한 경우에는 축전지 잔존 용량과 주행 부하에 따라 엔진의 모드를 선택하여 엔진이 가동된다.

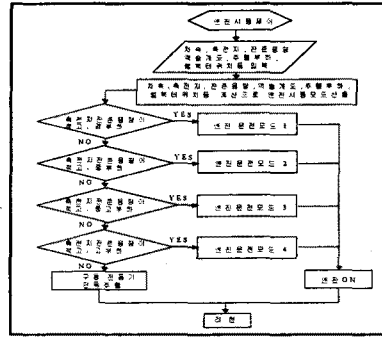
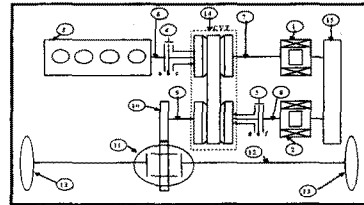


그림 5. 엔진 시동 순서도.

3.3 직·병렬 하이브리드 전기자동차의 구성도

직·병렬 하이브리드 전기자동차는 요구되는 구동력에 따라 엔진 출력은 정해 놓은 네 종류의 엔진 운전 모드 중 액셀개도와 축전지 잔존 용량과 주행 상태 등에 따라 가장 최적의 엔진 운전모드로 선택되므로 엔진 회전수가 항상 일정한 엔진 운전 상태를 유지할 수 있다. 중고속에서도 항상 전동기를 이용하므로 조건에 따라 기관의 효율이 좋은 영역을 선택하거나 배기물이 적게 발생하는 영역을 자유로이 선택할 수 있다.

감속시에는 감속 조건에 따라 한 대 혹은 두 대의 전동기에 의한 운동에너지 회수가 가능하며 급제동 시에는 엔진브레이크로 사용되어 제동 거리를 짧게 할 수 있다.



①발전기/전동기 ②발전기/전동기 ③엔진 ④클러치 ⑤엔진출력축 ⑥발전기/전동기 ⑦출력축 ⑧최종 구동기어 입력축 ⑨최종 구동기어 ⑩차동장치 ⑪차속축 ⑫바퀴 ⑬무단 변속기 ⑭축전지

그림 6. 제안된 직·병렬 하이브리드 전기자동차 구성도.

3.4 조건에 따른 구동력의 흐름

3.4.1 축전지 잔존 용량이 충분히 많고 출발 혹은 저속일 때

그림 7에서 동력전달경로는 A와 같이 연결된다. 이때 클러치는 d를 분리시키고 ef가 같이 연결된다. 더 많은 구동력이 필요할 경우에는 발전기/전동기 I을 전동기 모드로 하고 발전기/전동기 I의 출력축에 연결된 클러치에서 a는 분리되고 bc는 연결되어 무단변속기축에 동력이 전달된다. 최종 구동기어 입력축에서 발전기/전동기 II의 출력과 더해져서 바뀌를 구동시킨다. 이때 엔진은 정지

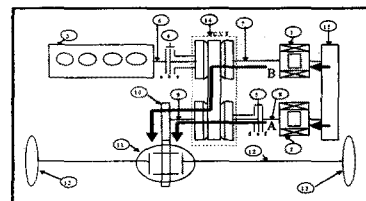


그림 7. 축전지 잔존 용량이 많고 출발 혹은 저속일 때. 상태이고, 클러치는 def가 모두 연결된다. 이런 주행 상태에서 감속을 할 경우에는 저속 저 부하이므로 발전기/

전동기 I의 전원을 차단하고 클러치는 d를 분리시키고 ef는 연결된 상태로 발전기/전동기 II는 발전모드로 전환되어 운동 에너지를 회수하게 된다. 클러치에서 d는 분리되고 ef는 결합하므로 인하여 무단 변속기가 회전하여 동력이 손실되는 것을 막을 수 있다.

3.4.2 축전지 잔존 용량이 적고 중 부하에서의 엔진 구동

그림 8에서 발전기/전동기 I의 전동기 모드에 의한 엔진시동후 엔진 운전모드 2로 운전되며 경로 F와 같이 엔진에서 클러치 abc가 연결되고 발전기/전동기 I이 발전모드로서 발전된 전력은 축전지에 저장된다. 이때 구동은 발전기/전동기 II에 의해서 이루어지며 클러치는 def가 연결되고 차동장치를 거쳐 바퀴를 구동시킨다. 이때 엔진의 출력 중 일부는 발전을 위해서 사용되며 일부는 경로 G와 같이 엔진에서 무단 변속기를 지나 발전기/전동기 II의 구동력과 합쳐져서 차동장치에 입력되고, 차축에 의해서 바퀴가 구동된다. 이때 엔진 출력은 경로 F와 같이 발전을 하면서 경로 H와 같이 전동기로 구동을 하는 직렬 방식과 경로 G와 같이 엔진이 직접 바퀴를 구동하면서 경로 H와 같이 전동기 구동을 동시에 하는 병렬 방식이 같이 사용되는 직·병렬 하이브리드 전기자동차의 구동 방식을 선택하고 있다. 이때 더 많은 구동력을 요구할 때는 경로 F의 발전량을 줄임으로서 조절이 가능하고, 더 많은 구동력이 요구 될 때는 발전기/전동기 I이 발전 모드에서 전동기 모드로 전환시킴으로서 구동력을 더해 수 있다.

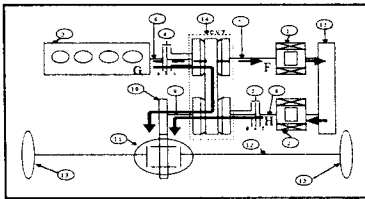


그림 8. 축전지 잔존 용량이 적고 중 부하일 경우

3.4.3 고 부하에서의 엔진 구동

고 부하에서 엔진 구동은 중 부하에서와 똑같은 동력 경로를 나타낸다. 이때도 엔진의 회전수는 항상 일정하며 직렬 하이브리드 전기자동차의 장점과 병렬 하이브리드 전기자동차의 장점을 항상 이용할 수 있다. 이상의 동력 선도를 조합하면 그림 9의 L선분 영역에서 축전지 잔존 용량이 충분한 경우에 p1~p점까지는 발전기/전동기 II에 의해서 구동이 가능하고 p~p2까지는 발전기/전동기 I에 의해서 구동력을 더해준다. 잔존 용량이 일정치 이하에서는 엔진모드1로 엔진이 구동되고 남은 엔진 출력은 발전기/전동기 I의 발전 모드에 의해 발전된다. 이때 구동 동력은 발전량 조절로 이루어진다. 또한 엔진모드1로 구동력이 모자랄 경우에는 발전기/전동기 II로 구동력을 더해준다. 그림 9의 M선분 영역과 N선분, O선분 영역은 L선분 영역과 똑 같이 각 점 q1~q, r1~r, s1~s에서는 발전기/전동기 I과 발전기/전동기 II의 발전 모드에 의해서 발전되고, 각 점 q~q2, r~r2, s~s2에서는 발전기/전동기 I과 발전기/전동기 II의 전동기 모드에 의해서 구동력을 더해 줌으로 동력 제어가 가능하다.

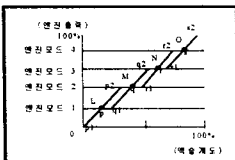


그림 9. 엔진 출력.

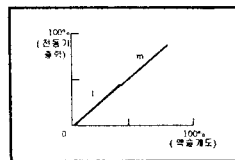


그림 10. 전동기 출력.

3.4.4 감속시 회생 에너지 흐름

감속시 에너지의 흐름은 감속 상태에 따라서 세 가지로 나눈다. 첫 번째는 지속 저 부하에서 감속할 때이다. 그림 11에서 I로 나타나는 회생 에너지의 경로를 가지며 바퀴로부터 전해진 에너지는 발전기/전동기 II의 발전모드로 변경되어 전기를 발전시켜서 축전지에 충전된다. 이때 클러치는 d가 분리되고 ef가 결합된 상태로 발전기/전동기 II를 제외한 어떤 장치도 구동되지 않으므로 회생 에너지 효율이 좋다. 두 번째는 좀더 많은 감속력이 발생될 때이다. 동력 회수 경로는 첫 번째 경우와 똑같은 경로에서 클러치의 def가 결합 상태로 되어 경로 J와 같이 발전기/전동기 I의 발전 모드에 의한 발전으로 축전지에 충전된다. 이때 엔진과 연결된 클러치의 a는 끊어진 상태이고 bc는 결합되어 있다. 세 번째는 급제동시에 사용되며 엔진 브레이크가 작동된다. 동력 회수 경로는 두 번째와 똑 같으며 여기에 클러치의 abc가 연결되어 경로 K와 같이 엔진이 구동된다. 이때 엔진에는 연료가 끊어지고 엔진 브레이크가 작동된다.

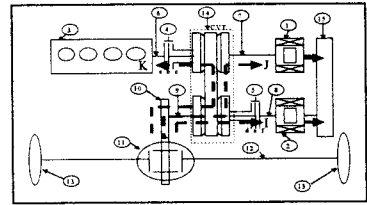


그림 11. 감속시 회생 에너지 흐름도.

4. 결 론

종래 직·병렬 하이브리드 전기자동차의 엔진 제어 방식을 개선한 새로운 동력 전달 메커니즘에 대한 연구를 수행하였다. 본 연구에서 얻은 결과는 다음과 같다.

첫째, 직렬 하이브리드 전기자동차의 장점과 병렬 하이브리드 전기자동차의 장점을 조합한 동력 전달 메커니즘을 제시 하였다.

둘째, 지속 저 부하에서 두 대의 전동기로 구동력을 제어하여 한 대의 전동기로 구동력을 제어함에 따르는 문제점을 분할 제어하는 방식을 제시하였다.

셋째, 주행 영역에서 부하 변동에 대해 엔진의 출력 효율을 높일 수 있는 전동기 구동 제어방식을 제시하였다.

넷째, 주행 영역에서 엔진 회전수가 일정하게 운전되므로 인해서 엔진 효율이 높아지고 매연을 줄일 수 있는 방식을 제시 하였다.

또한 문제점으로는 두 대의 발전기/전동기가 조건에 따라 전동기로 사용할 때와 발전기로 사용할 때의 무리 없는 전환 방법과 두 곳의 클러치를 동시에 제어하기 위해서는 제어 시스템이 복잡해진다.

따라서 향후 계획으로는 실제 시스템을 구축하여 지속적인 실험을 통하여 종래 자동차의 운전 감각을 그대로 유지하는 시스템을 개발하여 본 연구의 동력 전달 장치에 적용할 수 있도록 연구를 계속할 예정이다.

(참 고 문 헌)

- [1] E.Combes and C. Cottard, "Voiture particuliere Electriques Hybride (in English)", Advanced Electric Drive Systems for Buses, Vans, and passenger cars to reduce pollution. EDS, European Association of Electric Road Vehicle, P027, 1992.
- [2] D. Hermance & S. Sasaki, "Hybride electric Vehicle take to the streets," IEE Engineering the EV future, Vol35, November, pp 48-52, 1998.
- [3] A.Kalberlah, "Electric Hybride Drive Systems for Passenger Cars and Taxis" Volkswagens AG Wolfsburg, Germany, SAE 910247, 1991.