한국신·재생에너지학회 2006년도 춘계학술대회논문집 pp.543~546

듀얼 모드 하이브리드 동력전달계

양 호림[1], 김 남욱, 안 국현, 조 성태[2], 임 원식[3], 이 장무

Dual-mode Hybrid Powertrain

Horim Yang, Sungtae Cho, Namwook Kim, Kukhyun Ahn, Jangmoo Lee

Key words : Dual-mode(듀얼 모드), Input-split(입력 분기), Compound-split(복합 분기), Direct transfer point (직결점), Hybrid powertrain (하이브리드 동력전달계)

Abstract : 최근 여러 연구에서 다양한 종류의 멀티 모드 하이브리드 동력 전달계가 제안되고 있다. 멀티모드 동력전달계는 두 개 이상의 다른 유성기어식 하이브리드 시스템으로 이루어져 있으며 클러치를 사용하여 각 상황에 유리한 유성기어 시스템을 사용하여 주행한다. 각 유성기어 시스템의 단점들을 보완할 수 있기 때문에 단일 모드를 사용하여 주행했을 때보다 여러 면에서 높은 성능을 보인다. 일반적으로 유성기어식 하이브리드 시스템은 크게 입력, 출력, 복합 분기식의 세 가지 종류로 나눌 수 있는데 이 논문에서는 입력 및 복합 분기식 구조의 특징을 분석해 보았다. 또한 시뮬레이션을 통해 입력, 복합 분기식 구조를 사용하여 듀얼 모드를 구성하였을 때 단일 모드와 비교하여 어느 정도의 성능을 보이는지 알아보았다.

Nomenclature

R_i : 엔진 감속비
R_o : 출력축 감속비
R_a : 모터 A 감속비
R_b : 모터 B 감속비
T_i : 엔진 토크
T_o : 출력축 토크
T_a : 모터 A 토크
T_b : 모터 B 토크

1. 서 론

환경에 대한 관심의 증대와 최근의 유가 급등으로 인해 하이브리드 전기자동차의 시장에서의 성공 가능성은 급격히 커지고 있으며, 세계 각국의 주요 자동차 개발사들은 하이브리드 전기자동차를 양산하거나, 양산 계획을 발표하고 있다.

하이브리드 전기자동차의 개발 초창기에 존재했던 수많은 동력전달장치의 구조들은 실효성 및 성능이 검증된 구조들로 표준화가 이루어져 왔는데 그 중에서도 혼다 사 및 유럽 자동차 업체를 중심으로 하는 병렬형 방식과 도요타 사를 중심으로 하는 동력 분기형 방식이 주로 연구되어 왔다. 그 중에서도 동력 분기형 방식은 별도의 변속기 없이도 변속과 하이브리드 전용의 기능을 수행할 수 있다는 장점으로 인해 여러 회사의 양산 차종에 채택되어 판매되고 있다. 하지만 이런 동력 분기형 방식은 구조에 따라 특정 상황에서의 효율 문제 및 모터 속도 문제, 제어의 어려움 등이 발생하기 때문에 최근에는 이를 보완하여 전 차속 영역에서 사용할 수 있는 듀얼 모드 하이브리드 파워트레인이 연구되고 있다. 듀얼 모드 파워트레인은 클러치를 이용하여 두 가지 동력 분기 구조를 사용하므로 싱글 모드에 비해 모든 주행 상황에서 우수한 성능을 얻을 수 있다는 장점이 있다.

1) 서울대학교
E-mail : yhrpro@mailvib.snu.ac.kr
Tel : (02)880-8050
2) 현대 자동차
E-mail : bangle@hyundai-motor.com
3) 서울산업대학교
E-mail : limws@snut.ac.kr
Tel : (02)970-6392

2. 입력 분기식 동력전달계의 특징

입력 분기식 동력 전달계는 일반적으로 한 개의 유성기어와 두 개의 모터 조합으로 이루어지며 한 개의 유성기어에는 선기어, 캐리어, 링기어의 세 개의 구동점이 존재한다. 이 중 두 개의 구동점에 각각 엔진과 제 1 모터가 연결되며, 나머지 하나의 구동점에 변속기 출력 축에 제 2 모터가 연결되게 된다. 엔진의 출력 중 일부는 제 1 모터 또는 제 2 모터를 통해 순환 또는 분기하게 되며, 일부는 출력축으로 직접 전달되게 된다. 이와 같이 변속기에 입력되는 엔진의 동력이 두 개의 동력으로 분기되게 되므로 이를 입력 분기구조라고 칭한다. 아래의 Fig 1은 입력 분기식 동력전달계의 개념도이다.

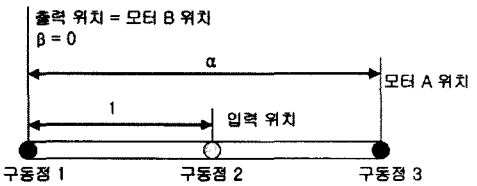

Fig. 1 입력 분기식 하이브리드 파워트레인 개념도

2.1 전기차 모드 및 회생제동 모드

하이브리드 차량의 동력전달계는 모터만을 사용해 주행하는 전기차 모드나 모터를 이용해 제동에너지를 회수하는 회생제동 모드가 구현 가능해야 한다. 전기차 모드와 회생제동 모드에서 시스템 효율을 높이기 위해서는 엔진으로 전달되는 동력이 없어야 하며 이를 위해서는 엔진 속도를 0으로 제어해야 한다. 입력 분기 구조에서는 출력의 토크와 모터 B의 토크가 상쇄되기 때문에 세 구동점에 걸리는 토크가 모두 0이 되고 모터 B와 출력 사이에만 동력 흐름이 생기게 된다. 따라서 효율이 높고 요구되는 출력에 따라서 모터 B의 크기만 조절하면 된다는 장점이 있다. 또한 엔진의 속도가 0이 되도록 모터 A의 속도만을 제어하면 되기 때문에 제어가 용이하다는 장점 또한 가지고 있다. 이러한 이유들 때문에 입력 분기 구조는 여러 분기 구조들 중에서 전기차 모드 및 회생제동 모드에서 가장 효율적인 모드라고 할 수 있다. Fig 2는 회생제동 모드에서 입력 분기 구조의 동력 흐름을 나타낸 것이다.

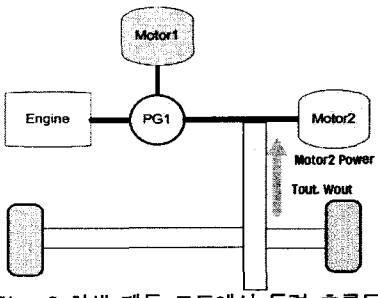

Fig. 2 회생 제동 모드에서 동력 흐름도

2.2 차량 급가속 시 성능

차량의 가속성능은 출력 축에 걸리는 토크의 크기에 좌우된다. 입력 분기 구조에서 동력원과 출력축의 토크 관계식은 다음과 같이 유도된다.

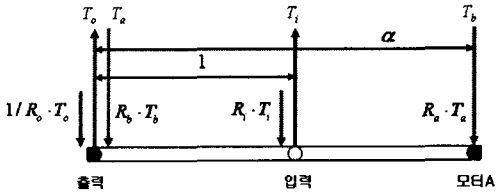

Fig. 3 입력 분기 구조에서 토크 관계도

$$\sum M_o = 0 : R_i T_i + \alpha R_a T_a = 0$$

$$\therefore T_i = -\alpha \frac{R_a}{R_i} T_a$$

$$\sum M_i = 0 : \frac{1}{R_o} T_o + (\alpha - 1) R_a T_a - R_b T_b = 0$$

$$\therefore T_o = -(\alpha - 1) R_o R_a T_a + R_o R_b T_b$$

분기식 동력전달계에서 두 개의 모터는 엔진의 토크를 받아주고 엔진 동작점을 제어해주는 변속기 역할과 엔진의 동력을 보조해주는 파워어시스트 역할을 한다. 입력 분기식 구조에서는 모터 A가 단독으로 엔진의 동력을 받아주는 변속기 역할을 하므로 모터 B의 동력이 모두 출력에 전달될 수 있다. 따라서 출력토크가 크고 다른 분기 구조에 비해 높은 가속성능을 가진다.

2.3 시스템 효율

입력 분기 구조에서는 엔진의 동력이 유성기어를 통한 기계적 경로와 모터 A를 통한 전기적 경로로 나뉘어 전달되는데 이 중 전기적 경로를 통해 동력이 전달될 경우 동력 전환이 자주 일어나기 때문에 효율이 낮다. 따라서 전기적으로 전달되는 동력이 작을수록 시스템 효율이 높다. 입

력 분기 구조에서는 저 변속비로 가면 모터 A의 속도가 반대로 바뀌면서 동력을 발생하고 이에 따라 일정량의 동력이 전기적인 경로를 통해 계속 재순환하는 현상이 발생하게 된다. 이런 영역으로 가면 동력이 모터를 통해 계속 전환되므로 효율이 급격히 나빠진다. Fig 4는 변속비에 따른 입력 분기 시스템의 효율을 나타낸 것이다.

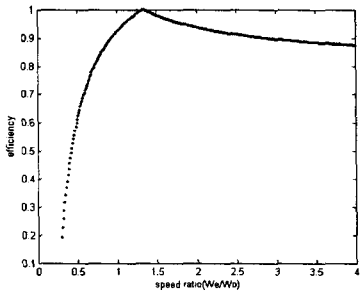

Fig. 4 입력 분기식 구조의 시스템 효율

3. 복합 분기식 동력 전달계의 특징

복합 분기식 동력 전달계는 두 개의 유성기어와 두 개의 모터 조합으로 이루어지며 두 유성기어의 두 개의 파트가 서로 연결되어 있어서 네 개의 구동점이 존재하게 된다. 각 구동점에는 엔진, 모터 A, 모터 B, 출력축이 연결된다. 두 개의 모터는 상황에 따라 동력을 발생 또는 흡수하게 되며 하나의 모터가 동력을 흡수하면 다른 하나의 모터는 동력을 발생한다. 아래의 Fig 5는 복합 분기식 동력전달계의 개념도이다.

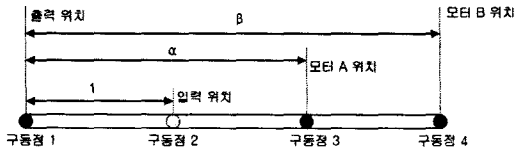

Fig. 5 복합 분기식 하이브리드 파워트레인 개념도

3.1 전기차 모드 및 회생제동 모드

전기차 모드 및 회생제동 모드에서 하나의 모터만을 사용하는 입력분기 구조와는 달리 복합분기 모드는 두 개의 모터가 모두 사용된다. 엔진의 속도제어를 위해 두 개의 모터가 사용되므로 제어가 복잡하고 동력 흐름이 복잡하므로 효율이 낮다. 또한 하나의 모터가 충전하면 다른 하나의 모터는 반드시 방전하게 되므로 동일한 출력이 필요한 경우에도 입력분기 구조보다 모터의 용량이 커져야 한다는 단점이 있다. Fig 6은 회생제동 모드에서 복합 분기구조의 동력 흐름도를 나타낸 것이다.

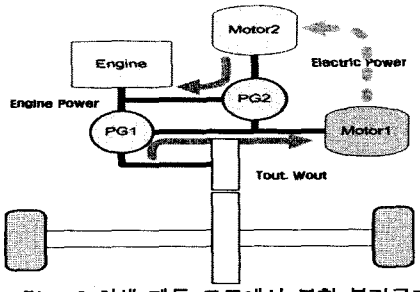

Fig. 6 회생 제동 모드에서 복합 분기구조의 동력 흐름도

3.2 차량 급가속 시 성능

복합 분기식 구조에서 동력원과 출력축의 토크 관계식은 다음과 같이 유도된다.

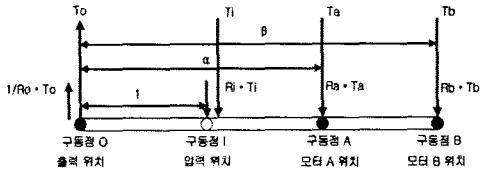

Fig. 7 복합 분기 구조에서 토크 관계도

$$\sum M_o = 0 : R_i T_i + \alpha R_a T_a + \beta R_b T_b = 0$$

$$\therefore T_i = -\alpha \frac{R_a}{R_i} T_a - \beta \frac{R_b}{R_i} T_b$$

$$\sum M_i = 0 : \frac{1}{R_o} T_o + (\alpha - 1) R_a T_a + (\beta - 1) R_b T_b = 0$$

$$\therefore T_o = -(\alpha - 1) R_o R_a T_a - (\beta - 1) R_o R_b T_b$$

위의 엔진 및 출력 토크 식에서 알 수 있듯이 복합 분기 구조에서는 두 개의 모터가 모두 엔진 토크를 받아주는 변속기 역할을 하므로 출력축 토크를 보조해주는 파워 어시스트 양이 입력 분기 구조에 비해 낮다. 따라서 입력 분기 구조에 비해 나쁜 가속 성능을 가진다.

3.3 시스템 효율

복합 분기 구조도 입력 분기 구조와 마찬가지로 전기적 경로를 통해 전달되는 동력의 양이 적을수록 시스템 효율이 높다. 입력 분기 구조에서는 모터 A의 속도가 0이 될 때 전기적으로 전달되는 동력량이 0이 되므로 효율이 가장 높은 것과 같이 복합 분기 구조에서도 모터 A, B의 속도가 0이 될 때 가장 높은 시스템 효율을 보인다. 즉 입력 분기 구조는 하나의 최대 효율점을 가지지만 복합 분기 구조에서는 최대 효율점이 두 개가 나타난다. Fig 8은 변속비에 따른 복합 분기 구조의 시스템 효율을 나타낸 것이다. 최대 효율

점이 주로 사용되는 변속비에 위치하도록 하면 높은 연비 성능을 얻을 수 있다.

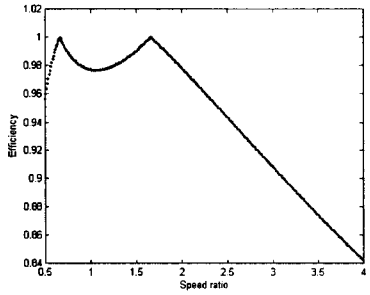

Fig. 8 복합 분기 구조의 시스템 효율

4. 듀얼 모드 동력 전달계의 성능

2장과 3장에서 알아본 바와 같이 입력, 복합 분기식 동력 전달계는 각각의 장단점을 가지고 있다. 각 구조의 장단점을 보완하기 위해 클러치의 결합 해제를 통해 두 가지 분기 모드를 바꿔가면서 사용하는 듀얼 모드 동력 전달계를 구성할 수 있다. 즉 입력 분기와 복합 분기로 이루어진 듀얼 모드 동력전달계의 경우 모터 모드나 회생 제동 모드, 차량 급가속시에는 입력 분기 구조를 사용하고 차속이 높은 저 변속비 구간에서는 복합 분기구조를 사용하게 된다. Fig 9는 입력, 복합 분기 구조로 이루어진 듀얼 모드 동력 전달계의 시스템 효율을 나타낸 것이다.

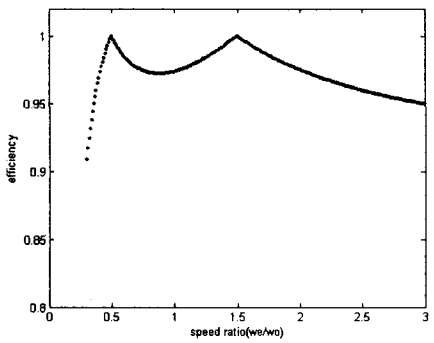

Fig. 9 듀얼 모드 동력전달계의 시스템 효율

듀얼 모드 동력전달계의 경우 각 주행 상황에서 더 유리한 구조를 선택해서 사용하기 때문에 단일 모드 동력 전달계보다 여러 면에서 차량 성능이 높다. 특히 입력, 복합 분기를 사용하는 듀얼 모드 동력전달계의 경우 고차속에서 효율이 높은 복합 분기 구조를 사용하기 때문에 입력 분기 구조가 가지는 높은 가속성능을 그대로 가지면서도 더 높은 연비 성능을 보여준다. 표 1은 입력, 복합 분기 구조를 단일 모드로 사용했을 경우와 듀얼 모드로 사용했을 경우 시속 100km/h로 가속하는데 걸리는 시간과 FTP72 사이클 주행 시 연비를 비교한 것이다.

표. 1 단일 모드와 듀얼 모드의 차량 성능 비교

	0-100km/h 시간	FTP72 연비
입력 분기식	9.68	18.40
복합 분기식	13.6	18.81
듀얼 모드	9.68	19.68

4. 결 론

분기식 하이브리드 동력 전달계는 여러 가지 장점을 가지고 있지만 분기 구조에 따라 단점들 역시 가지고 있다. 이러한 단점들을 보완하기 위해 주행 상황에 따라 두 가지 분기 구조를 사용하는 듀얼 모드 동력 전달계가 제안되었다.

이 논문에서는 입력 분기 구조와 복합 분기 구조의 특징에 대해서 알아보고 이 두 분기 구조를 사용하여 듀얼 모드 동력 전달계를 구성했을 때의 차량 성능을 단일 모드의 차량 성능과 비교해 보았다.

후 기

본 연구는 현대자동차와 진행한 듀얼 유성기어 하이브리드 시스템 해석 과제의 일환으로 수행되었습니다.

References

[1] Howard L.Benford, Maurice B. Leising, "The Lever Analogy A New Tool in Transmission Analysis", SAE Paper, 1981.

[2] Brendan Conlon, "Comparative Analysis of Single and Combined Hybrid Electrically Variable transmission Operating Modes", SAE Paper, 2005

[3] Doug Fussner, Yesh Singh, "Development of Single Stage Input coupled Split Power Transmission Arrangements and Their Characteristics", SAE Paper, 2002