

연비와 충전 횟수를 고려한 회생제동 알고리즘 연구

양 호림¹⁾, 전 순일²⁾, 박 영일³⁾, 이 장무¹⁾

A Research on the Regenerative Braking Algorithm considering Fuel Economy and Charging Oftenness

Horim Yang, Soonil Jeon, Yeongil Park, Jangmoo Lee

Key words : UDDS(도심 주행사이클), Regenerative Braking(회생제동), Fuel Economy(연비), Charginf Oftenness(충전 횟수)

Abstract : In this research, we presented the regenerative braking algorithms considering fuel economy and charging oftenness, and also analyzed these algorithms. The first algorithm was the regenerative braking algorithm for the ideal recovery of kinetic energy. The HEV using this algorithm had high fuel economy, on the other hand frequent charging was occurred. The second algorithm was the regenerative braking algorithm for reduction of the charging oftenness. Using this algorithm, the HEV had the low charging oftenness and small loss of fuel economy.

Nomenclature

P_m : motor power, W

T_m : motor torque, $N \cdot m$

subscrip

UDDS : urban dynamometer driving cycle

R.B : regenerative braking

1. 서 론

차량은 주행 중 감속이 요구되는 상황에서 제동으로 많은 운동에너지를 소비한다. 이 제동에너지는 감속이 잦은 주행일수록 큰 값을 가지는데 EPA75 도심 사이클에서는 요구에너지의 절반에 이른다. 일반 차량에서는 브레이크를 통한 마찰로 운동에너지를 소비하지만 모터를 사용하는

HEV나 EV, FCV 와 같은 차량의 경우 운동에너지를 전기에너지로 변환시켜 재사용할 수 있는데 이를 회생제동이라 한다.

회생제동을 사용했을 경우 연비향상 효과가 있고 기계적 마찰 제동량의 감소로 인해 브레이크 시스템의 수명이 증가한다는 장점이 있다. 이에 반해 운전자가 기존 차량의 제동감과 다른 제동감을 느낄 수 있고 잦은 충전으로 인한 배터리 및 전기시스템의 수명이 감소한다는 단점 또한 가지고 있다. 따라서 모터 용량과 주행사이클을 고려하여 적절한 배터리 수명을 유지하면서 높은 에너지 회수가 가능한 회생제동 알고리즘을 설계하여야 한다. 이 논문에서는 도심주행 사이클에서 모터 용량과 회생 제동 알고리즘에 따라 HEV

1) 서울대학교

E-mail : yhrpro@mailvib.snu.ac.kr

Tel : (02)880-8050 Fax : (02)876-9493

2) 현대자동차

E-mail :

Tel :

Fax :

3) 서울산업대학교

E-mail : yipark@snut.ac.kr

Tel : (02)970-6352 Fax :

차량의 연비와 충전 횟수가 어떻게 변하는지 살펴해보도록 하겠다.

2. 회생제동 시 모터 토크 및 속도

2.1 차량 구조

지금까지 연구되어 온 하이브리드 차량의 구조는 다양하며 구조에 따라 모터의 용량과 회생제동 알고리즘도 달라져야 한다. 모터의 위치가 변속기 앞쪽에 있는 하이브리드 차량의 경우 모터가 변속기를 통해 동력을 전달하므로 변속기를 통해 모터의 동작점을 결정할 수 있고 상대적으로 저토크의 모터를 사용할 수 있다. 이에 반해 모터의 위치가 변속기 뒤쪽에 있는 하이브리드 차량의 경우 차량의 속도에 따라 모터의 동작점이 결정되며 저속에서 큰 토크를 낼 수 있는 모터를 사용하여야 한다. 모터의 동작점을 제어할 수 있다는 장점 때문에 현재는 변속기 앞쪽에 모터가 위치하는 구조가 주로 연구되고 있으며 본 논문에서도 이러한 구조의 하이브리드 차량을 사용하였다. 아래의 Fig.1은 본 논문에서 사용한 혼다사의 Insight 구조이다.

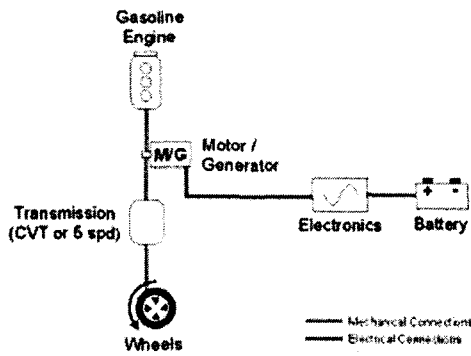


Fig. 1 Insight powertrain system

2.2 모터 토크 및 속도식

아래의 Fig.2 및 수식은 차량이 감속중일 때, 모터에 걸리는 토크와 모터의 속도를 나타낸 식이다. 차속에 따라 기어비 i 가 변화하여 효율이 높은 속도에서 모터와 엔진이 동작할 수 있도록 해주며 모터의 출력을 넘어서는 회생제동량이 요구될 경우 기계적 제동 토크가 모터의 토크를 보조하여 차량을 감속한다.

$$m_v a \cdot r_{tire} \cdot w_v = T_m \cdot i \cdot w_m + T_f \cdot w_v \quad [W] \quad (1)$$

m_v : 차량 질량

w_v : 차량 속도

T_m : 모터 토크

T_f : 마찰 제동 토크

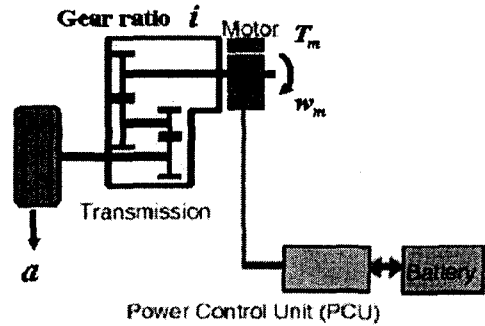


Fig. 2 회생제동 시 모터 토크 및 속도

3. 회생제동 알고리즘

3.1 최적의 에너지 회수를 고려한 회생 제동 알고리즘

모터의 토크곡선은 등 토크구간과 등 파워구간으로 나누어진다. 모터의 고 효율점은 등 파워구간에 존재하는데 차량 주행 시 차속에 맞춰 기어비가 변화하여 모터가 이점에서 동작할 수 있도록 한다. 단 기어비에는 제한이 있으므로 차량이 저속일 경우 모터가 고효율점보다 낮은 속도에서 동작하게 된다. Fig.3은 차량 속도에 따라 모터가 낼 수 있는 회생제동 토크와 흡수할 수 있는 회생제동 파워를 나타낸 것이다.

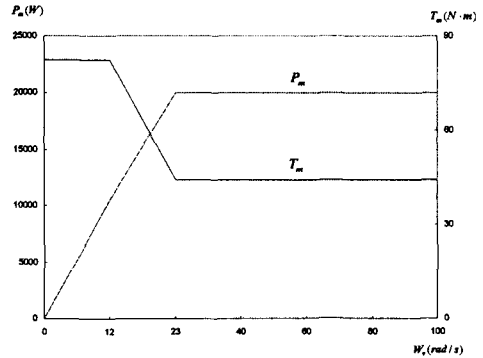


Fig. 3 차속에 따른 모터의 토크 및 출력

차량 감속 시 요구되는 제동 출력은 차량의 가속도와 차량속도에 따라 결정되는데 가속도와 차량속도가 클수록 제동 출력 역시 커진다. Fig.4는 차량의 가속도와 차량속도에 따른 제동 출력 곡선이다. 점선으로 표시된 P_m 은 모터의 출력이다. 요구되는 제동 출력이 모터의 출력보다 클 경우에는 부족한 출력을 기계적 제동으로 보조한다.

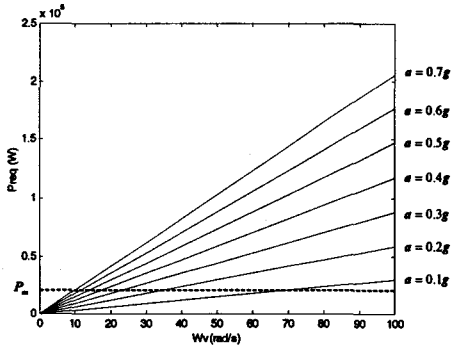


Fig. 4 가속도와 차속에 따른 모터 출력

차량의 가속도와 차량속도가 결정되면 Fig.4와 같이 모터가 흡수할 수 있는 회생제동 파워가 결정되므로 Fig.3을 이용하여 차량의 가속도와 차속에 따른 모터의 토크를 구할 수 있다. Fig.5는 모터의 토크를 나타낸 곡선이다.

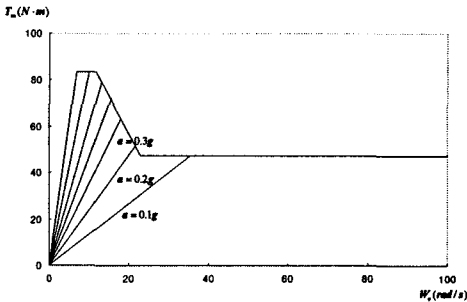


Fig. 5 가속도와 차속에 따른 모터 토크

위의 토크곡선을 이용하면 차량 가속도와 차속에 따라 모터의 토크와 속도를 결정할 수 있으며 가능한 최대한의 에너지를 회생제동을 통하여 회수할 수 있다. Fig.6은 이 회생제동 알고리즘을 사용하여 도심사이클을 주행하였을 경우 모터의 동작점을 나타낸 것이다.

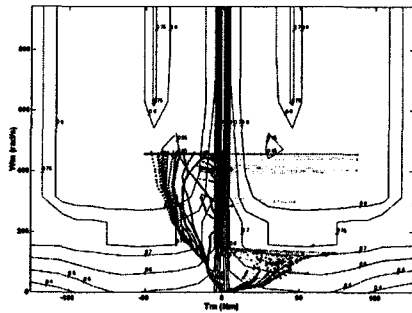


Fig. 6 도심사이클 주행시 모터의 동작점

3.2 충전 횟수를 고려한 회생제동 알고리즘

3.1 절에서 설명한 회생제동 알고리즘은 모든 제동상황에서 가능한 최대의 에너지를 회수하는

회생제동 알고리즘이다. 이 회생제동 알고리즘을 사용할 경우 연비 향상 효과를 극대화시킬 수 있지만 요구되는 제동 출력이 낮은 구간에서도 항상 회생제동이 사용되므로 충전이 잦다는 단점이 있다. 충전 횟수가 높을수록 배터리를 포함한 전기장치의 수명이 짧아지므로 회수할 수 있는 에너지가 낮은 경우 기계적 제동만을 사용함으로써 충전 횟수를 줄여주는 알고리즘이 필요하다. Fig.7은 도심 사이클을 주행했을 경우 차량 속도와 회수 가능한 에너지를 나타낸 그림이다.

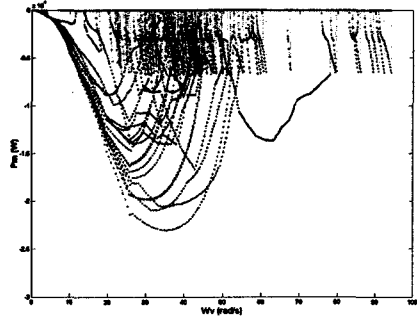


Fig. 7 UDDS 주행 시 차속에 따른 제동 출력

낮은 차속에서는 모터의 속도가 낮아지므로 모터의 효율이 나빠지고 제동에 필요한 에너지도 작아지므로 회생제동을 통해 회수할 수 있는 에너지가 작다. 그러므로 연비에 큰 영향을 미치지 않고 충전 횟수를 줄이기 위해서는 낮은 차속, 낮은 토크에서 회생제동을 사용하지 않아야 한다. 회생제동을 사용하는 속도가 높을수록 충전 횟수는 낮아지지만 연비가 나빠지므로 충전 횟수와 연비를 고려하여 회생제동 알고리즘을 결정해야 한다. Fig.8은 차속이 12rad/s, 23rad/s 이상인 경우 회생제동을 사용하는 알고리즘을 각각 나타낸 것이다.

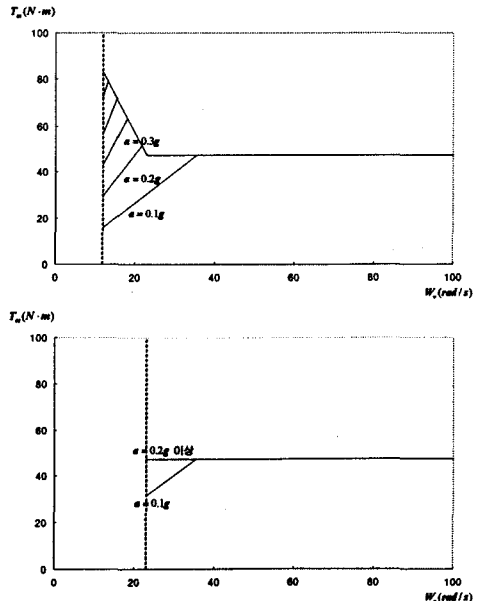


Fig. 8 충전 횟수를 고려한 회생제동 알고리즘

3.3 연비 및 충전횟수 시뮬레이션 결과

아래의 table 1은 세 가지 주행제어 알고리즘을 사용하여 도심 사이클을 주행하였을 경우 연비와 충전 횟수 결과이다. 회생제동 알고리즘1은 회수되는 에너지를 최대한 하기위한 주행제어 알고리즘이고 2, 3은 차속이 12rad/s, 23rad/s 이상일 경우에만 회생제동을 사용하는 회생제동 알고리즘이다. 회생제동 알고리즘1에 비해 2, 3은 연비는 약간 나빠지지만 충전 횟수가 낮아지는 것을 볼 수 있다. 특히 회생제동 알고리즘3의 경우 2에 비해 충전 횟수가 크게 낮아지는데 이는 차속이 12-23rad/s 구간에서 가감속이 잦았음을 의미한다.

저속에서 회생제동을 사용하지 않을 경우 연비에 미치는 영향을 최소화하면서 충전횟수를 줄일 수 있다. 특히 주행 사이클에 따라 가감속이 자주 일어나는 속도에서 회생제동을 사용하지 않으면 충전 횟수를 크게 줄일 수 있다. 단 이와 같은 회생제동 알고리즘을 사용할 경우 연비에 미치는 영향 평가가 선행되어야 한다.

Table 1. 연비 및 충전 횟수 시뮬레이션 결과

	연비	충전 횟수
알고리즘 1	23.5	136
알고리즘 2	23.5	129
알고리즘 3	23.3	105

4. 결 론

본 논문에서는 최적의 에너지 회수를 위한 주행제어 알고리즘과 충전 횟수를 고려한 주행제어 알고리즘을 제시하고 도심 주행사이클에서 시뮬레이션 하였을 경우 연비와 충전 횟수 결과에 대해 분석하였다. 최적의 에너지 회수를 위한 주행제어 알고리즘의 경우 연비 향상 효과는 높지만 에너지 회수가 낮은 저속에서도 회생제동을 사용하므로 충전 횟수가 높다. 그러므로 연비에 큰 영향을 미치지 않는 범위에서 저속구간의 회생제동을 사용하지 않는다면 충전 횟수를 낮출 수 있다.

회생제동을 사용하지 않는 저속구간을 확장할 수록 충전 횟수는 줄어들지만 연비가 나빠지는 결과를 나타냈다. 따라서 회생제동 알고리즘을 설계할 때 연비 성능과 충전 횟수의 적절한 고려가 필요하다. 또한 모터의 출력과 주행사이클에 따라 연비와 충전 횟수가 달라지므로 차속에 따라 회수 가능한 에너지 분포를 살펴보고 회생제동 알고리즘을 설계하여야 한다.

References

[1] Yimin Gao, Liping Chen and Mehrdad Ehsani, "Investigation of the Effectiveness of Regenerative Braking for EV and HEV", SAE, 1999-01-2910, 1999

[2] Michael Panagiotidis, Dennis Assanis and George Delagrammatikas, "Development and use of a Regenerative Braking Model for a Parallel Hybrid Electric Vehicle", SAE, 2000-01-0995, 2000

[3] 오경철, 여훈, 김현수, "병렬형 하이브리드 전기자동차의 운전 전략과 회생제동", 자동차공학회지, 제 23권, 제 5호, 2001