

전기자동차의 최대효율을 위한 회생제동 알고리즘

권시현, 박태준, 정찬수
 송실대학교 전기공학부

Optimal Regeneration Algorithm for Electric Vehicle

Si hyun Kwon, Tae jun Park, Chan Soo Chung
 Soongsil Univ.

Abstract - 전기 자동차에서 회생제동시 회수되는 에너지의 양을 향상시키기 위한 회생제동 방식에 대하여 연구하였다. 회생제동시 에너지의 흐름중 발전기의 효율이 최대가 되도록 토크와 모터 속도를 기어비를 제어함으로써 차량 제동시 보다 많은 에너지가 배터리로 회생되도록 하는 회생제동 최적변속 알고리즘에 대한 연구를 진행하였다.

1. 서 론

우리나라는 특히 에너지의 거의 전량을 수입에 의존하고 있으며, 전체 에너지량 중 석유가 차지하는 비중이 과반(61.925%)을 훨씬 넘는 상황으로 다른 여타 선진국의 석유 의존도가 절반을 밑돈다는 것을 감안해 볼 때 우리나라의 석유 의존도는 지나치게 높다는 것을 알 수 있다 [1]. 현재 많은 관심을 받으며 활발히 연구 되고 있는 대체 자동차로는 전기 자동차, 가솔린자동차와 전기자동차의 장점만을 취합해 만든 하이브리드 자동차, 그리고 연료전지 자동차 등이 있다. 연비를 개선하기 위한 이들 자동차들의 공통된 특징으로 회생제동(regenerative braking)이 있다. 보통의 마찰식 제동장치는, 제동시 운동에너지를 열 에너지로 변환하여 소모시키는데 반해 회생제동은 운동에너지를 전기 에너지로 변환하여 슈퍼 커패시터나 배터리에 저장하여 이를 구동시 자체가 다시 사용할 수 있도록 하는 기술로서 고효율의 친환경 자동차를 개발하기 위해서 반드시 요구되는 필수 기술이다[2][3][5].

본 연구에서는 CVT 변속기를 장착한 전기자동차에 대하여 최대 제동 에너지를 회수할 수 있는 최적의 회생 제동 제어 알고리즘을 제시하고자 한다.

2. 본 론

2.1 회생제동

2.1.1 제동방법

마찰 제동 (friction brake)
 브레이크 디스크와 제동 플레이트를 밀착시켜 그때 생긴 마찰을 이용해 달리는 차량의 운동에너지를 열에너지로 바꾸어 소비하는 형태로 속도를 줄이는 방식이다. 실생활에서 가장 많이 쓰이는 방식이다.

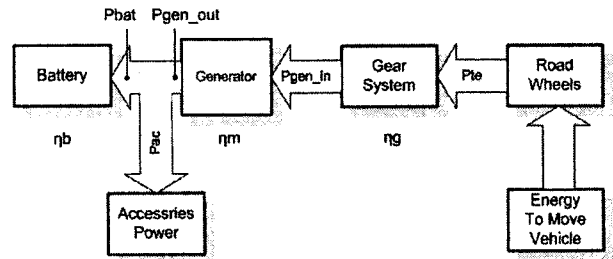
전기 제동 (electric brake)
 전기제동은 크게 발전 제동 (dynamic brake)과 회생 제동 (regenerative brake)으로 구분된다. 먼저 발전 제동은 제동 시 전동기를 발전기로 동작하게 하여 전차의 운동에너지를 1차로 전기에너지로 바꾼 뒤 이를 저항에 연결하여 열에너지로 변화하여 방산하도록 하는 방식이다. 회생 제동은 발전 제동 방식과 동일하게 1차적으로 전기에너지로 바꾸지만 반면에 이를 저장하여 다시 동력원으로 사용하는 것이다.

2.1.2 회생제동

전기자동차는 기존의 내연기관 자동차와 비교하여 1회 충전 주행거리가 짧다는 단점을 지니고 있다. 이 점이 전기자동차의 실용화를 막는 가장 큰 걸림돌이라고 할 수 있다. 이는 배터리의 에너지밀도가 화석연료에 비해 대단히 작기 때문에 발생하는 것으로 근본적으로 배터리의 개발이 뒷받침 되어야 한다. 이를 극복하기 위해 배터리에 대한 연구가 많이 진행되고 있다. 이와 더불어 단점을 보완하는 방법의 연구 또한 진행되고 있는데 그중에서 하나가 회생제동이다. 회생제동은 제동시 차량의 운동에너지를 전기에너지로 바꾼 뒤 이를 다시 사용할 수 있도록 하는 장치로 에너지를 재활용 한다는 측면에서 연비개선에 큰 효과가 있다. 또한 기계적 제동이 감소하는 효과가 있으므로 마찰식 제동 시스템의 수명 연장에도 기여한다[4][5][6].

2.1.3 회생제동 최적화

[그림 1]은 회생제동시의 에너지 흐름을 나타낸다. 에너지의 흐름은 주행시와는 역방향으로 진행되어 CVT와 발전기를 통해 배터리로 전달된다[5][6][7].



<그림 1> 회생제동시 에너지 흐름

$$T_{wheel} = G_{ratio} \times T_{gen} \times \eta_{system} \quad (1)$$

T_{wheel} 은 차량의 회생제동 토크를 말한다. G_{ratio} 은 기어 시스템의 변속비, T_{gen} 은 발전기 토크를 말한다. η_{system} 기어 시스템의 효율이다.

제동 에너지와 토크 모터 스피드간의 관계는 식 (2)와 같다.

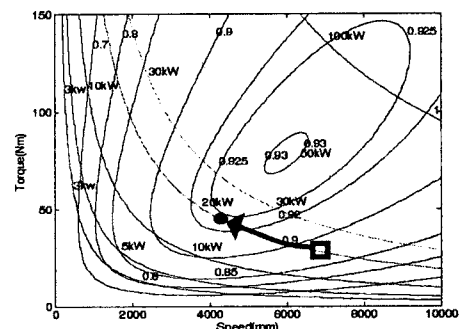
$$P_{reg} = T_{ren} \times \omega_{ren} \quad (2)$$

차량의 질량, 속도, 저항에 의해 제동에 요구되는 에너지가 정해졌을 때, 토크와 발전기의 각속도는 반비례하게 된다. 기어 시스템에 의해 토크가 변화하게 되면 발전기의 각속도도 변화한다. 발전기의 효율 곡선[그림 2]에서 토크와 발전기 각속도가 변화하면, 발전기의 효율이 변한다. 즉 변속비에 따라 발전기의 효율이 달라진다.

제동시 CVT 변속비를 제어해 발전기가 최대 효율에서 동작하게 한다면, 회생 제동시 획득하는 에너지 효율을 극대화 할 수 있으며, 그에 따라 자동차 연비증가의 결과를 얻을 수 있다.

$$P_{genout} = \eta_m \cdot P_{genin} \quad (3)$$

[그림 2]는 발전기의 효율곡선을 나타낸다. 발전기의 입력이 10kW 일 때, 입력되는 토크와 각속도를 조절하여 □점의 운영 점을 ●로 이동시키면, 85% 이었던 효율이 92%이상으로 향상됨을 알 수 있다.



<그림 2> 모터 효율곡선에서 회생제동시 CVT변속비에 의한 운영점 이동

2.2 시뮬레이션 결과

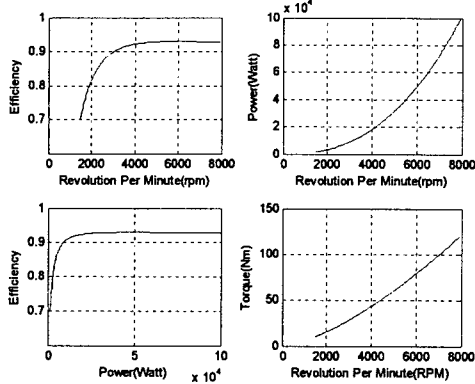
앞서 제시된 회생제동 방식을 타당성 검증을 위하여 전기자동차 모의실험 프로그램에 제한한 방식을 적용하여 시뮬레이션을 실시하였다. [표 1]은 실험을 위해 선정된 차량의 제원이다. 모의실험에는 MATLAB이 사용되었으며, FUDS 주행모드가 사용되었다.

[그림 3]은 모의실험에 사용된 100kW AC 유도 전동발전기에서 최대 효율이 되는 각 항목간의 관계를 나타낸 그래프이다. 4번째 그래프를 보면, 효율이 최대가 되는 RPM과 토크곡선을 볼 수 있다. 발전기의 운

행진이 4번째 그래프의 RPM과 토크곡선과 가까울수록 전동기·발전기의 효율은 향상된다.

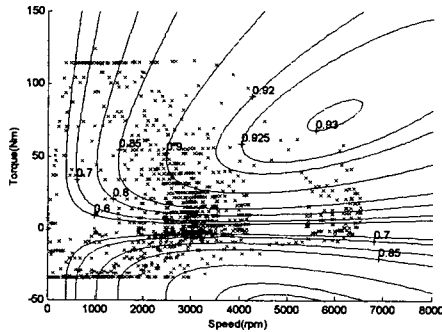
〈표 1〉 시뮬레이션을 위한 차량의 자원

모의실험을 위해 선정된 차량의 자원		
차량질량	1350kg	3상AC유도전동기 102kw(137hp)@7000rpm
전방투영면적	1.746 m ²	변속비 0.63 ~ 3.67
공기저항계수	0.26	중감속 기어비 9.5
구름저항계수	0.0048	배터리 납축전지
중력가속도	9.81 m/s ²	26× 12 Volt 60× 6 Ah

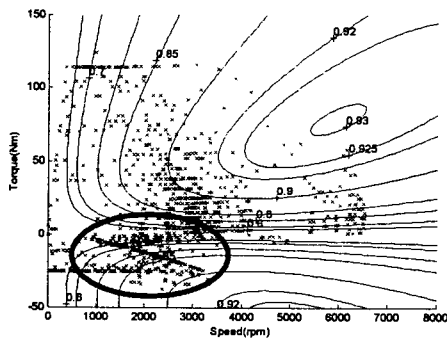


〈그림 3〉 최대효율이 되는 각 항목 곡선

[그림 5]는 제안한 방식을 적용한 뒤의 전기자동차의 운행궤적이다. 제안한 방식을 적용하지 않은 [그림 4]와 비교해 원으로 강조한 음의 토크부분(회생제동이 일어나는 부분)에서 운행점이 최대 효율이 되는 한 선으로 집중되어 모인 것을 확인할 수 있다.



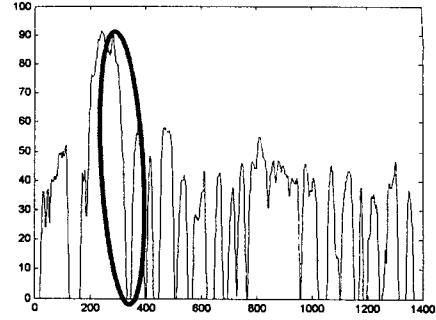
〈그림 4〉 FUDS 모드에서 전기자동차의 운행궤적



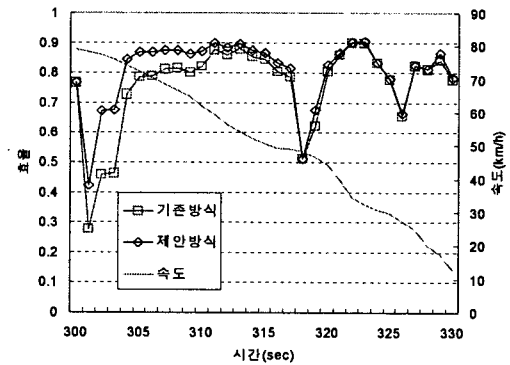
〈그림 5〉 제안한 방식을 적용한 FUDS 모드에서의 전기자동차의 운행 궤적도

[그림 6]과 [그림 7]은 실험에 사용된 FUDS모드에서 특정 제동 시간대의 방식 간 효율비교 곡선이다. 제안한 방식이 기존방식에 비해 효율이 향상됐음을 알 수 있다.

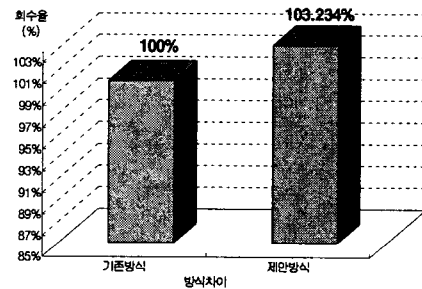
배터리로 충전되는 에너지의 양을 비교해 보면, [그림 8]과 같다. 제안한 방식이 기존방식을 100이라고 했을 때, 약 103.234로 에너지 회수량이 약 3.2% 향상됐음을 알 수 있었다.



〈그림 6〉 FUDS 모드중 특정 시간대의 제동



〈그림 7〉 제동시 방식간 효율 비교



〈그림 8〉 기존방식과 제안방식간의 에너지 회수율 차이

3. 결 론

회생제동은 제동에너지를 전기에너지로 저장하여 재사용하는 기술로 대기환경문제, 지구 온실가스문제 그리고 에너지 절약이라는 측면에서 꼭 필요한 기술이며, 중요성이 부각 되는 기술이다. 본 논문에서는 회생제동 에너지의 효율 향상을 위해 제안한 제동 알고리즘을 전기자동차 시뮬레이터 프로그램에 적용하여 모의실험을 실시하였다. 실험결과 제안한 방식을 적용했을 경우 전기자동차의 운행점중 많은 수가 최대효율 곡선 근처로 이동하였으며, 이는 발전기가 최적의 효율로 동작함을 나타낸다. 최종적으로 회생 제동시 회수되는 제동 에너지량이 증가함을 확인할 수 있었다.

〔참 고 문 헌〕

- [1] 에너지 관리 공단 통계자료, 2005-2006
- [2] 환경자료집 국립환경연구원, 1999
- [3] 환경부 대기분야기초통계 2003
- [4] 조만, "하이브리드 자동차 기술동향" 한국 과학기술정보 연구원 2004 기술동향 분석 보고서
- [5] 전기자동차 핸드북 편집 위원회, "전기자동차 핸드북"
- [6] Mehrdad Ehsani, Yimin Gao, Sebastien E. Gay, Ali Emadi, "Modern Electric, hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles Fundamentals, Theory, and Design" CRC press.
- [7] James Larminie, John Lowry, "Electric Vehicle Technology" WILEY