



EV용 권선계자형 동기기와 매입형 영구자석 동기기의 주행 사이클에 따른 차량 시스템 효율 분석

Analysis of Vehicle System Efficiency Corresponding to Driving Cycle of Wound Field Synchronous Motor and Interior Permanent Magnet Synchronous Motor for Electric Vehicle

저자 (Authors)	이동희, 차경수, 박진철, 홍정표 Dong-Hee Lee, Kyung-Soo Cha, Jin-Chul Park, Jung-Pyo Hong
출처 (Source)	한국자동차공학회 춘계학술대회 , 2017.5, 1112-1115 (4 pages)
발행처 (Publisher)	한국자동차공학회 The Korean Society Of Automotive Engineers
URL	http://www.dbpia.co.kr/Article/NODE07205066
APA Style	이동희, 차경수, 박진철, 홍정표 (2017). EV용 권선계자형 동기기와 매입형 영구자석 동기기의 주행 사이클에 따른 차량 시스템 효율 분석. 한국자동차공학회 춘계학술대회, 1112-1115.
이용정보 (Accessed)	한양대학교(서울) 166.***.168.148 2017/11/30 23:30 (KST)

저작권 안내

DBpia에서 제공되는 모든 저작물의 저작권은 원저작자에게 있으며, 누리미디어는 각 저작물의 내용을 보증하거나 책임을 지지 않습니다. 그리고 DBpia에서 제공되는 저작물은 DBpia와 구독계약을 체결한 기관소속 이용자 혹은 해당 저작물의 개별 구매자가 비영리적으로만 이용할 수 있습니다. 그러므로 이에 위반하여 DBpia에서 제공되는 저작물을 복제, 전송 등의 방법으로 무단 이용하는 경우 관련 법령에 따라 민, 형사상의 책임을 질 수 있습니다.

Copyright Information

Copyright of all literary works provided by DBpia belongs to the copyright holder(s) and Nurimedia does not guarantee contents of the literary work or assume responsibility for the same. In addition, the literary works provided by DBpia may only be used by the users affiliated to the institutions which executed a subscription agreement with DBpia or the individual purchasers of the literary work(s) for non-commercial purposes. Therefore, any person who illegally uses the literary works provided by DBpia by means of reproduction or transmission shall assume civil and criminal responsibility according to applicable laws and regulations.

EV용 권선계자형 동기기와 매입형 영구자석 동기기의 주행 사이클에 따른 차량 시스템 효율 분석

이 동 회* · 차 경 수 · 박 진 철 · 홍 정 표
한양대학교 미래자동차공학과

Analysis of Vehicle System Efficiency Corresponding to Driving Cycle of Wound Field Synchronous Motor and Interior Permanent Magnet Synchronous Motor for Electric Vehicle

Dong-Hee Lee* · Kyung-Soo Cha · Jin-Chul Park · Jung-Pyo Hong

Department of Automotive Engineering, Hanyang University, 222, Wangsimni-ro, Seongdong-gu, Seoul 133-791, Korea

Abstract : As environmental regulations have been increased around the world, trends in auto markets are becoming greener. Electric vehicles, powered by electric motors, is being developed on behalf of an internal combustion engine. Interior permanent magnet synchronous motor using rare-earth materials are mainly used for electric car, which can satisfy high efficiency and power. Rare-earth materials are essential for the high performance of a permanent magnet, but they are difficult to predict prices and unstable in supply and demand. Therefore, researchers have been developing rare-earth free motors or motors that reduces the use of rare-earth materials. As a representative example, a wound field synchronous motor, which is rare-earth free, has been studied. This paper deals with the efficiency analysis of vehicle system according to the driving cycle of interior permanent magnet synchronous motor and wound field synchronous motor. First, the two target motors have the same stator diameter, number of poles/slots, and designed to produce the same output. Next, the efficiency maps of the two motors were subjected to characteristic analysis to derive the results. Finally, the motor efficiency map will be analyzed through the Advisor by applying the efficiency map the motor to the driving cycle situation.

Key words : Driving Cycle(주행 사이클), Efficiency(효율), Electric Vehicle(전기자동차), Interior Permanent Magnet Synchronous Motor(매입형 영구자석 동기기), Wound Field Synchronous Motor(권선계자형 동기기)

Nomenclature

T : torque, Nm

P_n : pole pair

ψ_o : linkage flux by field current, Wb

i_d : d-axis current, A

i_q : q-axis current, A

L_d : d-axis Inductance, H

L_q : q-axis Inductance, H

1. 서 론

2020년을 기준으로 유럽과 중국 등의 환경규제가 대폭 강화될 예정이다. 유럽의 경우, 자동차의 이산화탄소 배출 허용량이 현재 km 당 130g 에서 2020년을 기점으로 95g으로 강화 되며, 중국 역시

* 이동회, E-mail: david29@hanyang.ac.kr

2021년부터 연비규제가 리터 당 20km 에서 25km로 늘어났다. 미국 10개 주에서는 친환경차 의무 판매제가 시행되고 있으며, 2020년에는 순수 전기차 판매량이 전체 차량의 8% 이상이 되도록 규제 될 예정이다.

글로벌 자동차 업계는 이러한 규제를 대응하여 전기차, 플러그 인 하이브리드자동차 개발과 생산에 속도를 있으며, 친환경차 시장도 점점 커지고 있다. 2016년 기준, 중국의 친환경차 판매량은 50만 7천대를 기록했으며 전년도 대비 53% 증가 했으며, 국내 친환경차 판매량은 6만 8774대로 전년도 대비 64% 증가 했다.

전기차와 하이브리드 자동차 구동에는 전동기를 사용한다. 차량 구동용 전동기는 고효율 밀도와 고효율을 요구한다.

회토류를 사용한 매입형 영구자석 동기기(Interior Permanent Magnet Synchronous Motor, IPMSM)은 이러한 차량 구동용 전동기의 조건을 만족하며, 자동차 업계의 대부분은 이 전동기를 사용하고 있다.

하지만 회토류는 가격 변동 예측이 어렵고 수급이 불안정한 문제가 있기 때문에, 이를 대체할 전동기 연구가 필요하다. 권선계자형 동기기(Wound Field Synchronous Motor, WFSM)은 고속 영역 운전시 계자 전류를 제어함으로써 손실을 줄일 수 있는 장점과 회토류 자석을 사용하지 않기 때문에 IPMSM을 대체 할 전동기로 제안되고 있다.¹⁾ 본 논문에서는 동일한 출력으로 설계된 IPMSM과 WFSM을 EV 견인용 전동기로 사용하여 주행 사이클에 따른 차량 시스템 효율을 비교할 것이다. 차량 시스템 효율 비교를 위해 어드바이저 (Advanced Vehicle Simulator, ADVISOR)를 사용할 것이며, 주행 사이클로는 도심주행 사이클(Urban Driving Dynamometer Schedule, UDDS)과 고속도로 주행 사이클(Highway Fuel Economy Test, HWFET)을 이용할 것이다.²⁾

2. 대상 전동기 비교

2.1 권선계자형 동기 전동기(WFSM)

WFSM은 PM type 전동기와 달리 계자가 영구자석이 아닌 권선으로 대체한 구조를 가지며 구조적으로 d축 인덕턴스가 q축 인덕턴스보다 더

커 돌극성을 띤다.³⁾

$$T = P_n \{ \psi_a i_q + (L_d - L_q) i_d i_q \}$$

P_n 은 극쌍수, ψ_a 는 영구자석에 의한 전기자 쇠교자속, i_d , i_q 는 전기자 d축, q축 전류, L_d , L_q 는 d축, q축 인덕턴스이다

IPMSM은 역돌극성을 띄기 때문에, 2사분면 운전시 킬러턴스 토크를 사용하여 최대 토크를 발생시킨다. 반면, WFSM은 돌극성을 띄고 1사분면 운전 시 킬러턴스 토크를 사용하여 최대 토크를 발생시키기 때문에 IPMSM과 거의 동등한 수준의 토크를 발생시킬 수 있다.

2.2 대상 전동기

Fig. 1과 Fig. 2는 각각 IPMSM과 WFSM의 형상이다. 출력이 동일한 두 대상 전동기는 4극 48슬롯 모델이다. 전동기의 고정자 외경, 극/슬롯 수, 상당 직렬 턴 수 등 대부분 동일하다. DC전압과 최대 입력전류, 기저/최고 속도 역시 같다. 하지만 WFSM의 경우 IPMSM 대비 적층길이가 30% 정도 증가했다.

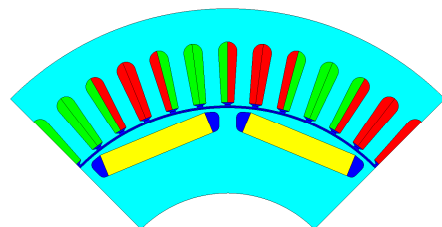


Fig. 1 IPMSM 형상

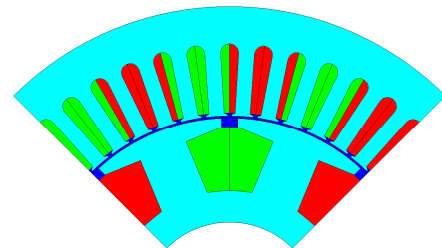


Fig. 2 WFSM 형상

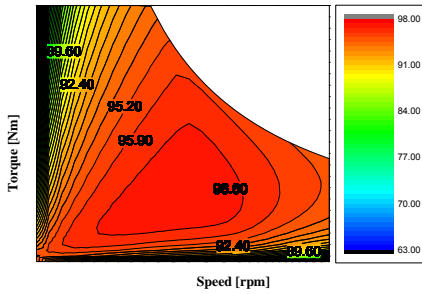


Fig. 3 IPMSM 효율맵

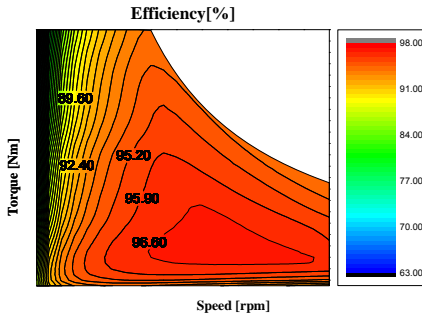


Fig. 4 WFSM 효율맵

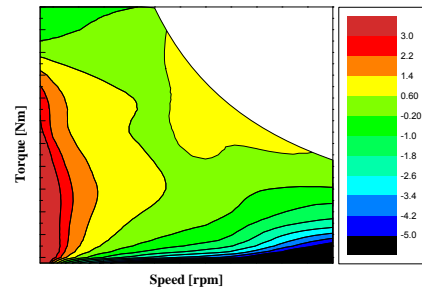


Fig. 5 IPMSM과 WFSM의 효율차

Fig. 3, Fig. 4는 IPMSM과 WFSM의 효율맵이다. Fig. 5는 IPMSM의 효율에서 WFSM의 효율의 차를 나타냈다. 이를 보면 저속영역에서는 IPMSM의 효율이 더 높고 고속영역에서는 WFSM의 효율이 더 높은 것을 확인할 수 있다.

3. 차량 전체 시스템의 효율 비교

3.1 차량 시스템 및 주행 조건

Table. 1은 두 대상 전동기를 적용한 차량의 제원을 나타낸다. 차종은 EV 차량으로 VEH_large SUV 차량에 전동기를 탑재하였다. 차량용 배터리로 ESS_LI7_temp, 변속기는 TX_1SPD를 사용하였다. 차량의 최대 주행거리는 140km 이다.

Fig. 6과 Fig. 7은 도심주행 사이클과 고속도로 주행 사이클을 시간과 속도에 따라 나타낸다. 그리고 Fig. 8는 주행 사이클의 동작점을 나타낸다.

Fig. 8를 보면 도심주행 사이클은 저속 고 토크 영역에서 주로 동작하고, 고속도로주행 사이클의 경우 고속 영역에서 동작함을 확인 할 수 있다.

도심주행은 사이클 당 12km를 주행하며 8사이클을 반복하였다. 고속도로 주행은 사이클 당 16.5km를 주행하며, 132km를 주행하는 시뮬레이션을 시행 하였다.

Table. 1 적용 차량 제원

항목	명칭
차종	EV
Vehicle	VEH_large SUV
Energy Storage	ESS_LI7_temp
Transmission	TX_1SPD
Wheel/Axle	WH_SUV
Accessory	ACC_SUV
Powertrain	PTC_EV
휠 베이스 [mm]	2990
주행거리 [km]	140

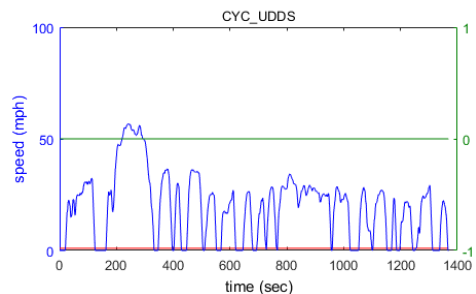


Fig. 6 도심주행 사이클(Urban Driving Dynamometer Schedule, UDDS)

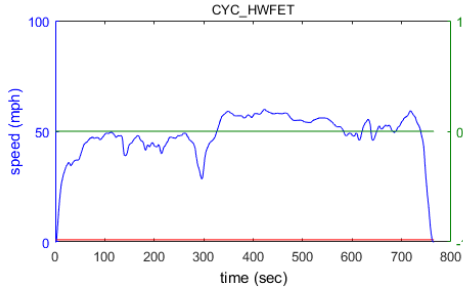


Fig. 7 고속도로 주행 사이클(Highway Fuel Economy Test, HWFET)

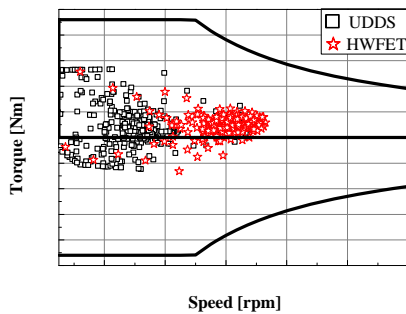


Fig. 8 도심주행 사이클(UDSS)과 고속도로주행 사이클(HWFET)의 동작점

Table. 2 주행 사이클에 따른 차량 시스템 효율

	IPMSM	WFSM
도심주행 효율[%]	45.3	44.6
고속도로주행 효율[%]	60.8	60.8

3.2 전체 차량 시스템 효율 분석

위와 같은 조건으로 차량 전체 시스템의 효율을 분석한 결과는 Table. 2와 같다. 도심주행 사이클에서는 IPMSM과 WFSM이 각각 효율이 45.3%, 44.6% 이고, 고속도로주행 사이클에서는 60.8%로 동일한 효율을 나타낸다.

두 대상 전동기에 대한 차량 시스템 효율분석은 도심주행 사이클에서는 IPMSM이 0.7% 더 높은 효율을 기록했고, 고속도로주행 사이클에서는 동일한 효율을 기록하였다. WFSM이 IPMSM 대비 출력밀도가 낮지만, 고속 영역에서 높은 효율을 가지므로, 차량 전체 시스템의 효율에서 IPMSM과

동일한 결과를 얻었다.

4. 결론

본 논문에서는 IPMSM과 동등한 출력으로 설계된 WFSM을 EV차량에 적용하여 차량 전체 시스템 효율을 비교 하였다. 비교를 위해 ADVISOR를 사용하였고, 비교결과 도심주행 사이클에서는 IPMSM이 0.7% 우수하고, 고속에서는 동등한 차량 시스템 효율이 산정되었다. 두 사이클에 대해서 IPMSM과 WFSM의 EV 차량시스템 효율이 거의 동등함을 확인 했다.

WFSM은 희토류 자석의 수급 불안정 문제와 가격 변동 예측이 어려운 상황에서, IPMSM을 대체할 전동기로 충분한 경쟁력을 가질 것으로 보인다.

Acknowledgement

본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신기술진흥센터의 대학ICT연구센터육성 지원사업의 연구결과로 수행되었음 (IITP-2017-2012-0-00628)

References

- 1) Hong, Jung-Pyo, "Trends of Wound Field Synchronous Motor Development," AUTO JOURNAL : Journal of the Korean Society of Automotive Engineers, Vol. 35, No. 10, pp. 31~37, 2013
- 2) Kyoung-Soo Cha, Dong-Min Kim, Myung-Seop Lim and Jung-Pyo Hong, "Comparison of Vehicle Efficiency Applying Rare Earth Free Concentrated-Flux Synchronous Motor and Rare Earth Interior Permanent Magnet Synchronous Motor According to Driving Cycle," KIEE Conf., 858-859, 2015
- 3) Kyoung-Soo Cha, Jin-Cheol Park, Seung-Hee Chai and Jung-Pyo Hong, "Power Density Improvement Design of WFSM for EV Traction Motor Using Hair-pin Windings," KIEE Conf., 1235-1238, 2015