



## EV의 주행경로에 따른 모터의 구동영역과 손실 저감

Reduction of Energy Loss And Operating Point in EV Motor

---

저자 (Authors)	이재웅, 김대기, 홍정표 Jae-Ung Lee, Dae-Kee Kim, Jung-Pyo Hong
출처 (Source)	<a href="#">대한전기학회 학술대회 논문집</a> , 2017.7, 1715-1716 (2 pages)
발행처 (Publisher)	<a href="#">대한전기학회</a> The Korean Institute of Electrical Engineers
URL	<a href="http://www.dbpia.co.kr/Article/NODE07232919">http://www.dbpia.co.kr/Article/NODE07232919</a>
APA Style	이재웅, 김대기, 홍정표 (2017). EV의 주행경로에 따른 모터의 구동영역과 손실 저감. 대한전기학회 학술대회 논문집, 1715-1716.
이용정보 (Accessed)	한양대학교 166.***.168.149 2018/10/17 10:41 (KST)

---

### 저작권 안내

DBpia에서 제공되는 모든 저작물의 저작권은 원저작자에게 있으며, 누리미디어는 각 저작물의 내용을 보증하거나 책임을 지지 않습니다. 그리고 DBpia에서 제공되는 저작물은 DBpia와 구독 계약을 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.

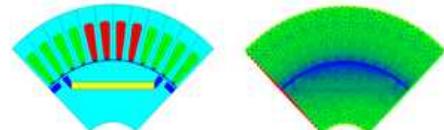
## EV의 주행경로에 따른 모터의 구동영역과 손실 저감

이재웅\*, 김대기\*, 홍정표\*  
한양대\*

### Reduction of Energy Loss And Operating Point in EV Motor

Jae-Ung Lee\*, Dae-Ke Kim\*, Jung-Pyo Hong\*  
Hanyang University\*

**Abstract** - 이 논문에서는 EV 모터의 고속/고토크 구동점에서의 손실저감에 따른 에너지 효율을 논할 것이다. 또한 각 구동점에서의 손실저감방안에 대해서도 논할 것이다. 기본 해석모델의 효율을 계산하고, 철심 재질 변경과 극 수 변경을 통해 EV 시스템의 효율을 개선할 것이다. 두 과정은 Artemis와 US06이라는 두가지 주행경로에서 적용될 것이다. Artemis 주행경로는 고속 영역에서 작동하고, US06 주행경로는 급가속시 고토크 영역에서 작동하기 때문에 각각 고속 구동영역에서는 철손, 고토크 구동영역에서는 동손을 주 손실로 보고 손실 저감과 효율 개선을 확인할 것이다.



〈그림 2〉 기본 해석모델 형상

〈표 2〉 기본 해석모델 정보

항목	값	단위
극/슬롯 수	4/48	
철심 재질	50PN470	
모터 타입	IPMSM	
출력	120	kW

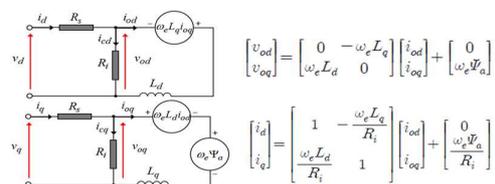
## 1. 서론

최근 유럽 자동차 시장의 경우 정부의 EV 보급정책과 충전 인프라 구축을 통해 친환경차 분야에서 EV가 50%정도 차지하고 있다. 그러나 도로교통부의 자료에 따르면 국내 시장의 경우 EV의 비율이 약 11%밖에 되지 않는다. 또한 자동차업계 종사자들을 대상으로 설문조사를 한 결과, 국내 EV의 활성화가 힘든 원인 2위가 가격 대비 성능 불만족이라는 것을 확인할 수 있다. 그렇기 때문에 국내 시장의 EV 활성화에 기여하고자 본 연구를 통해 모터의 효율을 개선해보고자 하였다.



〈그림 1〉 국내 EV 구매의 한계점

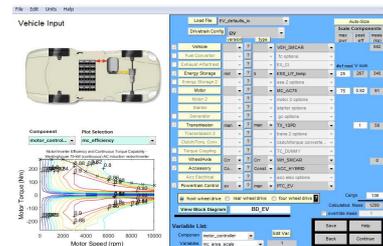
실제 미국 환경보호국 EPA의 연비 측정 기준을 보면 5가지의 Cycle을 제시하고 있다. 이러한 요구조건에 맞춰 다양한 cycle에서의 효율 개선이 필요하다 판단하였고, 그에 따라 Artemis cycle(고속 저토크 구동)과 US06 cycle(저속 고토크 구동)에서의 효율을 개선하는 방안을 제시하고, Simulation을 통해 개선된 효율을 확인하였다.



〈그림 3〉 철손과 동손을 포함한 d-q축 등가회로

## 2.2 Advisor를 이용한 System/Motor 효율 도출

그림 4에 보이는 Advisor 프로그램을 이용하여 EV 시스템을 구성하고 본 논문에서는 모터의 데이터와 주행경로를 변경하여 구동점과 모터/EV 시스템의 효율을 확인하였다.



〈그림 4〉 Advisor 프로그램

〈표 1〉 EPA(미국 환경보호국)의 연비 측정기준 5가지 주행경로

Mode	Mode	평균차속 (km/h)	최대차속 (km/h)	환경조건
UDDS	시내(City)	34	93	24°C
HWFET	고속도로(Highway)	77	96	24°C
US06	최고속 및 급가속 (High speed)	77	128	24°C
SC03	에어컨 가동(A/C)	35	88	35°C 습도 40%
Cold UDDS	저온 외기온도	34	93	-7°C

## 2. 모터의 효율 도출 과정

### 2.1 유한요소 해석을 통한 이론적 모터의 효율

기본 해석모델로 그림 2의 4극 50PN470 IPMSM 모델을 선정하였고 효율을 도출하고자 유한요소해석을 진행하였다. 그림 3에서 제시한 d-q 축 전압방정식에 따라 모터의 특성해석을 통해 rpm은 0-1000rpm, torque는 0-270Nm 범위에서 d-q축 인덕턴스를 통한 이론적 모터의 효율을 계산하였다.

## 3. 손실 개선 방안 설정

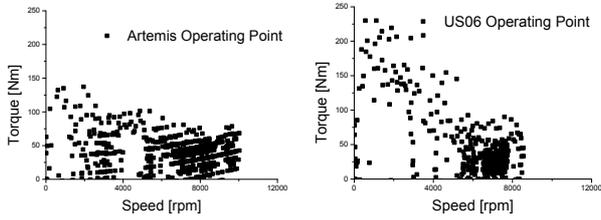
### 3.1 주행 경로와 구동점

#### 3.1.1 Artemis 경로

기존 유럽의 연비측정기준 주행경로인 NEDC 경로의 경우 전형적인 승객의 운전 습관을 반영하기는 했지만 역동적인 감/가속이 잘 반영되어있지 못하다. 또한 120km/h의 최고속도는 실제 고속도로에서의 최고속도를 모두 나타내지 못한다. Artemis 경로는 이러한 한계점을 보완하고 더욱 다양한 주행 패턴의 데이터를 적용시킨 주행경로로 그림 5와 같이 고속 저토크 영역에서 모터가 구동하는 것을 확인할 수 있다.

#### 3.1.2 US06 경로

US06 경로의 경우 표 1에서 볼 수 있듯이 미국 환경보호국의 연비측정 기준 주행경로중 하나로 급가속시 그림 5와 같이 EV가 주행함에 따라 저속 고토크 영역에서 모터가 구동하는 것을 확인할 수 있다.



〈그림 5〉 Artemis/US06 주행경로에서의 구동영역

### 3.2 철손과 동손

#### 3.2.1 관계식과 의미

철손(Core loss)은 자성재료의 성질로 인한 Hysteresis loss와 와전류(Eddy current)에 의한 Eddy current loss, 그리고 Abnormal loss로 나누어지며, 관계식은 표 3에 제시하였다.

동손은 코일 저항에 의해 발생하는 손실로 관계식은 표 4에 제시하였다.

〈표 3〉 철손(Core loss)

Hysteresis loss	Eddy current loss	Abnormal loss
$P_h = k_h \cdot f \cdot B_{max}^n$	$P_e = k_e \cdot f^2 \cdot B_{max}^2$	$P_a = k_a \cdot f^{1.5} \cdot B_{max}^{1.5}$
$P_h$ = 히스테리시스 손실 $k_h$ = 상수 $f$ = 자속 변화 주파수 $B_{max}$ = 자속밀도 최대치	$P_e$ = 와전류 손실 $k_e$ = 상수	$P_a$ = abnormal loss $k_a$ = 상수

〈표 4〉 동손(Copper loss)

Copper loss
$P_c = I^2 \cdot R$
$P_c$ = 동손 $I$ = 코일에 흐르는 전류 $R$ = 자속변화 주파수

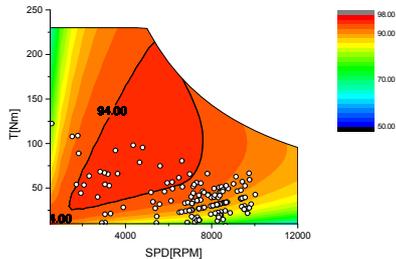
#### 3.2.2 손실 저감 방안

표 3을 통해 철손의 경우 주파수의 함수로써 고속영역에서 주요한 영향을 미칠 것이라고 예상하였고 그렇기 때문에 Artemis 주행경로에서의 주 손실이라고 판단하였다. 철손의 저감 방안으로 50PN470 철심에 비해 철심이 비교적 적은 35PN230 철심을 사용하였다.

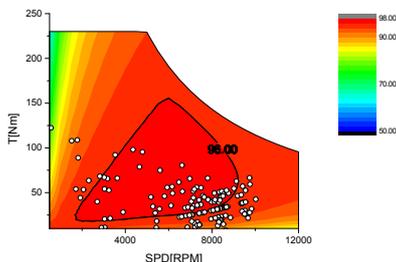
표 4를 통해 동손의 경우 전류와 저항의 함수이고 토크와 전류는 비례하기 때문에 고토크 영역에서 동손이 지배적이라는 것을 알 수 있다. 따라서 US06 주행경로에서의 고토크 영역의 주 손실이라고 판단하였고 극 수를 바꾸어 End-coil의 길이를 짧게 하여 도선의 길이에 비례하는 저항 성분을 감소시키고자 하였다.

## 4. 시뮬레이션 결과

### 4.1 Artemis 주행경로에서의 효율 개선(철손 저감)



〈그림 6〉 4Pole 50PN470 구동점과 효율맵

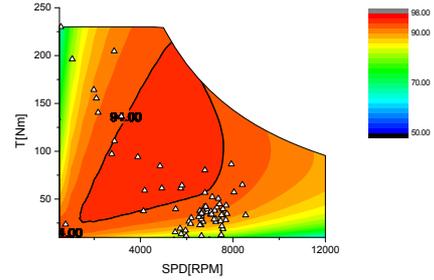


〈그림 7〉 4Pole 35PN230 구동점과 효율맵

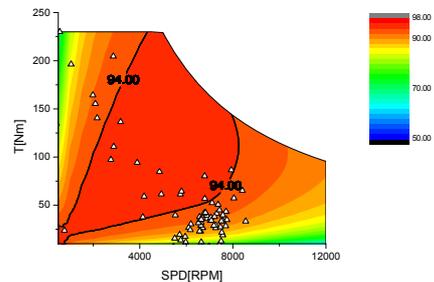
〈표 5〉 4Pole 50PN470과 4Pole 35PN230 모터/시스템 효율

	4Pole 50PN470	4Pole 35PN230
모터 효율	0.958	0.963
EV 시스템 효율	0.614	0.655

### 4.2 US06 주행경로에서의 효율 개선(동손 저감)



〈그림 8〉 4Pole 50PN470 구동점과 효율맵



〈그림 9〉 8Pole 50PN470 구동점과 효율맵

〈표 6〉 4Pole 50PN470과 8Pole 35PN230 모터/시스템 효율

	4Pole 50PN470	8Pole 50PN470
모터 효율	0.931	0.947
EV 시스템 효율	0.497	0.52

## 5. 결론

- 1) 시뮬레이션 결과를 살펴보면 효율맵에서도 각 구동점의 효율이 개선되는 것을 확인할 수 있고, Advisor를 이용하여 모터/EV 시스템의 효율이 소폭 개선된 것을 확인하였다.
- 2) 최근 주행을 위한 차량들 뿐 아니라 다양한 용도의 차량들(운반용 지게차 등)도 EV형태로 바뀌어 가고있기 때문에 EV의 서로 다른 주행 cycle에 대하여 최적의 효율을 낼 수 있는 모터의 설계가 필요하다. 본 논문에서는 Artemis와 US06이라는 두 가지 경우의 주행경로만 제시했지만 더 나아가 고속 영역과 고토크 영역이 섞인 주행경로에서도 최적의 효율을 낼 수 있도록 연구가 필요하다.
- 3) 본 논문에서는 동손과 철손 저감의 경향성과 개선방향에 중점을 두었지만 철심과 극 수 뿐 아니라 IPMSM의 구조와 토크 리플 등 다양한 요소를 고려하여 최적의 효율을 낼 수 있는 모터 설계가 필요하다.
- 4) 이렇게 주행경로에 최적화된 효율을 낼 수 있는 모터를 설계함으로써 국내 EV시장의 확대에 기여할 수 있을 것이라 생각한다.

### [참고 문헌]

- [1] Dae-Kee Kim, Dong-Min Kim, Seung-Hee Chai, Jung-Pyo Hong, "Dynamic Characteristics Simulation of HEV system and Determination of Driving Motor Power", KSAE spring Conference 2015, pp991-996, 2015
- [2] DELPHI: Worldwide Emissions Standards, 2016
- [3] Stephan Gunther, Stefan Ulbrich, Wilfried Hofmann, "Driving Cycle-Based Design Optimization of Interior Permanent Magnet Synchronous Motor Drives for Electric Vehicle Application", International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion, 2014