

운전각을 고려한 PMSM 설계

유병훈*, 박준영*
삼보모터스(주)*

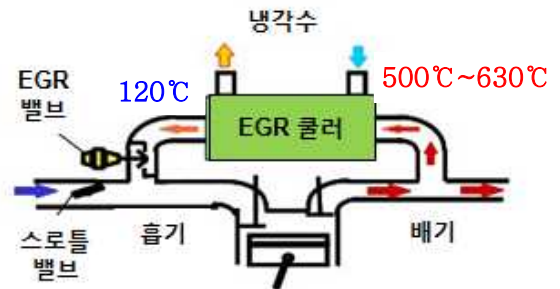
Design of PMSM for operating angle

Byoung-Hun Yu*, Jun-Young Park*
SAMBOMOTORS CO., LTD.*

Abstract - 본 연구는 차량에서 사용되고 있는 밸브의 운전각을 고려한 PMSM 설계를 수행하였다. D²L을 이용하여 제적을 산출하였고 재설계 변수 (권선수, 축방향 길이, 영구자석의 호의길이)를 선정 후 시스템에서 요구하는 토크와 운전각에 대한 설계를 진행하였다.

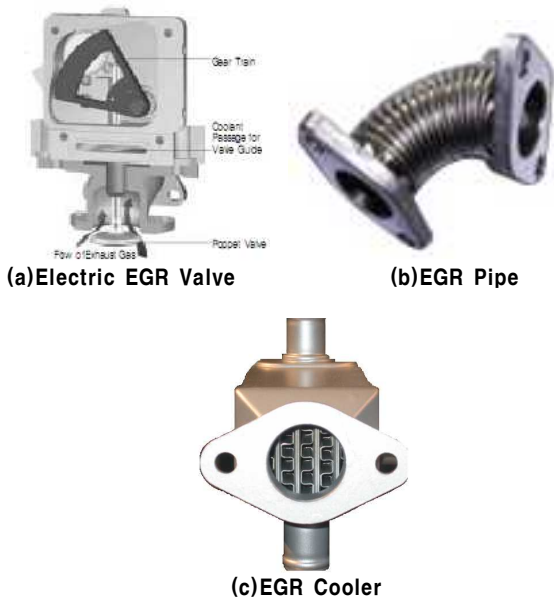
1. 서 론

화석자원을 사용하는 교통수단이 배출하는 배기가스로 인해 심각한 대기오염과 그로인한 환경파괴가 날이 갈수록 심각해짐에 따라 고연비 및 친환경 교통수단이 주목 받고 있다. 고연비 및 친환경 교통수단을 위해서는 기존 엔진 시스템을 가지는 차량들이 기계식 (유압식)에서 전기식 (전동기)로 변경 및 새로운 전기기기를 도입하여 고연비를 추구하기 위한 연구가 활발히 진행 중이다. 이러한 흐름에서 배기가스를 재순환하여 사용하는 E-EGR(Electric - Exhaust Gas Recirculation) System은 국내 자동차 분야에서 활발히 연구 및 개발 중에 있으며 해외에서는 적용된 차량이 있다.



〈그림 2〉 일반적인 EGR System 계통도

일반적으로 가솔린 엔진에서는 엔진으로 유입되는 공기의 양을 조절하는 스로틀 밸브에 의해 고출력이 필요하지 않는 저속에서와 같은 경우 스로틀 밸브는 부분적으로 닫혀 실린더로 유입되는 공기의 양을 강제적으로 줄여 연료의 양을 감소시켜 펌핑로스를 발생시키고, 가속 또는 고속에서는 노킹(Knocking : 이상 연소)을 유발 시킨다. 이러한 펌핑 로스와 노킹은 연비를 악화시키는 원인이 된다. 따라서 최근에 가솔린 엔진에서는 연비향상을 목적으로 E-EGR System을 적용하여 EGR율을 향상시키고 연소 온도를 더욱 더 낮춰주는 역할을 한다.



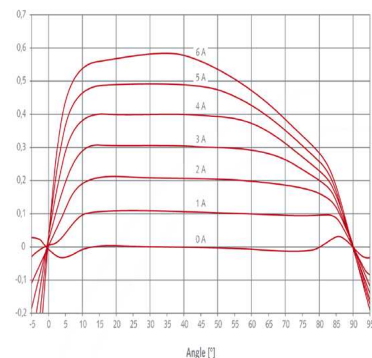
〈그림 1〉 EGR System의 핵심 부품

E-EGR System의 핵심 부품은 그림 1처럼 (a)E-EGR Valve, (b)EGR Pipe, (c)EGR Cooler가 있다. 이러한 고연비를 위한 E-EGR System은 아직까지 국내 EGR Cooler에서는 적용 사례가 없는 새로운 설계 컨셉이다. 최근 점점 더 엄격해지는 배기규제를 만족하기 위해서 정밀한 제어 가능한 Electric EGR Valve가 적용되고 있으며 Electric EGR Valve는 필요한 EGR율을 정확하게 공급할 수 있는 정밀제어가 가능하여 고연비 및 NOx 저감을 추구 할 수 있다.

따라서, 본 연구에서는 EGR 양을 정밀하게 제어하는 역할을 하는 E-EGR Valve의 운전각을 고려한 PMSM을 설계하고자 한다.

2. 본 론

2.1 E-EGR System 특성



〈그림 3〉 E-EGR System의 동작 및 요구 특성

그림 3은 이 System에서 정밀제어를 위한 E-EGR Valve의 운전각 및 토크 특성이다. 운전각은 EGR Valve의 개폐방법에 따라 정해지지만 본 논문에서는 직접개폐방법으로 최대 75°이상 개폐를 설정하였다. 또한 System에서 요구되는 토크 특성을 보여준다.

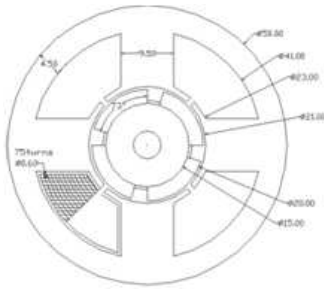
2.2 E-EGR용 PMSM 설계

〈표 1〉 E-EGR용 PMSM 사양

EGR Motor spec.			
PARAMETER		S사	Design
Part	Unit	Spec.	Spec.
Vin	Vdc	13.5	←
Tmax	Nm	0.48	0.6 ↑
Nbase	Rpm	-	250
TRV	kNm/m ³	-	20
Trated	Nm	-	0.24
Nmax	Rpm	-	500

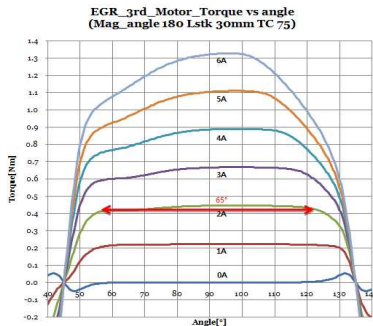
Pout_rated	W	-	6.5
Turn		72	75
Coil dia.		0.5	0.6
Rph	Ω	2.4	2
Slot fill factor	%	-	40
Magnet ang. / pole	$^\circ$	90	75
Size		$\Phi 55 \times L 53\text{mm}$	$\Phi 50 \times L 30\text{mm}$
OP. ang.	$^\circ$	-	75 \uparrow

표 1은 E-EGR용 PMSM 사양을 보여주며, 해외 S사의 E-EGR용 PMSM과 비교하였다. 또한 NdFeB magnets의 이론적인 TRV(Torque per Rotor volume: $[\text{kNm}/\text{m}^3]$) 값을 가정하였으며, 가정한 TRV 값을 D²L에 적용하여 기본체적설계를 진행하였다. 그 결과 하우징 미포함 고정자 외경은 $\Phi 50$, 축방향 길이는 30mm이다. 또한 전류밀도 $21\text{A}/\text{mm}^2$ 기준과 접착율 40%를 고려하여 75턴의 권선수가 설계 되었다.



(a) 형상

<그림 4> E-EGR용 PMSM 형상

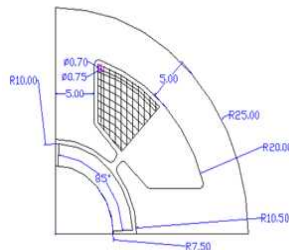


<그림 5> E-EGR용 PMSM의 전류에 따른 운전각

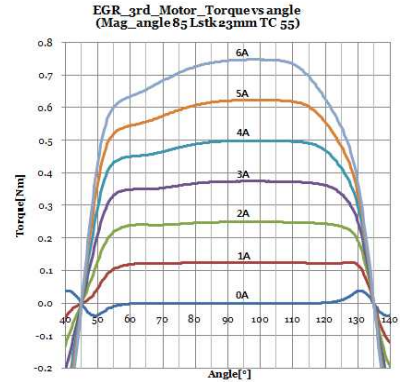
그림 4는 표 1을 기준으로 설계된 E-EGR용 PMSM의 (a)형상과 (b) 정격부하 0.24Nm 일때 운전각 65 $^\circ$ 로 요구사양 75 $^\circ$ 이상을 만족하지 못하며, 그림 5는 E-EGR용 PMSM의 전류에 따른 운전각 및 토크 특성이 다. 토크특성 사양인 그림 3과 표 1을 그림 5와 비교 하였을시 전류 대비 토크 특성이 2배 이상 과설계 됨을 알 수 있다.

2.3 E-EGR용 PMSM의 재설계

재설계 변수로 영구자석의 극당 각도, 축방향 길이, 권선수를 선정하였다. 영구자석 각도를 75 $^\circ$ ~90 $^\circ$ 를 2.5 $^\circ$ 간격으로, 축방향 길이를 20mm~30mm를 1mm 간격으로, 권선수를 50~75를 5턴 간격으로 해석을 진행하였다. 그 결과 영구자석 극당 각도 85 $^\circ$, 축방향 길이 23mm, 권선수 55턴으로 설계 되었을 시 설계 사양과 유사한 특성을 갖는 것을 알 수 있다.



(a) 재설계된 형상

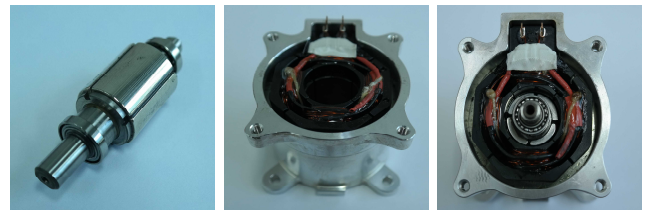


(b) 재설계된 특성

<그림 6> E-EGR용 PMSM의 재설계된 형상과 특성

그림 6은 E-EGR용 PMSM의 재설계된 (a)형상과 (b)특성으로 그림 3과 표 1의 설계 사양과 유사한 것으로 확인 되었다.

3. 제작 및 평가



(a) 회전자

(b) 고정자

(c) 조립



(d) E-EGR Valve

(e) 최종시제품

(f) 무부하 내구시험

<그림 7> E-EGR System 제작 및 내구시험

그림 7은 E-EGR System의 (a)회전자 (b)고정자 (c) 회전자와 고정자 조립, (d)는 E-EGR Valve, (e)는 최종 시제품, (f)는 E-EGR Valve의 입력전압 13.5Vdc, 무부하 전류 0.7A 제한으로 Full-On/Off 무부하 내구 시험을 진행하였다.

4. 결 론

본 연구에서는 E-EGR Valve의 정밀한 운전각을 고려한 PMSM 설계를 수행하였다. 초기설계시 이론적인 TRV값을 D²L에 적용하여 PMSM의 요구 체적을 산출하였으며, 영구자석의 극당 각도와 축방향 길이, 권선수를 재설계 변수로 선정하여 시스템요구 사양에 부합되도록 설계를 진행하였다. 설계안을 토대로 시제품을 제작하였으며 무부하 내구 시험을 완료하였다. 향후 간이 차량에 장착하여 E-EGR System에서 적용 가능한 PMSM인지 검토할 예정이다.

[참 고 문 헌]

[1] 김준영, 이기덕, 김미정, 이재준, 한재호, 정태철, 이주, "출력밀도 향상을 위한 120kW급 IPMSM의 영구자석 배치 최적화 설계", 2013년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집, 841-842, 2013년도
 [2] T.J.E. Miller, D.A Staton, "ELECTRIC MACHINE DESIGN"
 [3] J.R. HENDERSHOT, T.J.E. MILLER, "DESIGN OF BRUSHLESS PERMANENT-MAGNET MACHINES", 2010.