

전기차 구동모터용 인버터의 차량 적용성 평가를 위한 테스트 플랫폼 개발

서수지¹⁾, 김연우²⁾, 김민재²⁾, 김인호²⁾, 이성원²⁾, 이의형²⁾, 정지은²⁾, 김세환^{*2)}
 부산대학교¹⁾, 한국기계연구원²⁾

Development of Test Platform to Evaluate Vehicle Applicability of Inverter for Electric Vehicle Traction Motor

Suji Seo¹⁾, Yeonwoo Kim²⁾, Minjae Kimm²⁾, Inho Kimm²⁾, Sungwon Lee²⁾, UiHyung Yi²⁾,
 Jieun Jeong²⁾, Sehwan Kim^{*2)},

Pusan National University¹⁾, Korea Institute of Machinery and Materials²⁾

ABSTRACT

본 논문에서는 전기차 구동 부품 단위의 기술 개발단계에서 테스트 플랫폼을 활용한 차량 적용성 검증을 진행하여 전기차 구동 부품의 신뢰성을 향상시킬 수 있는 평가 방법을 소개하고자 한다. 테스트 플랫폼은 다양한 개발시작품(인버터, 구동모터, 배터리, OBC 등)을 쉽게 탈부착할 수 있도록 Plate 형태로 구성하고 실차 탑재 성능을 시험할 수 있도록 구성하였다. 구동모터의 MTPA제어를 수행하는 인버터 개발시작품을 테스트 플랫폼에 탑재하여 도심 및 고속도로 주행모사 시험을 수행하였으며 실차 탑재 기반의 차량 적용성 평가 결과를 제시하고자 한다.

1. 서론

최근 자동차 산업에서는 개발비용의 절감 및 생산 효율 증가를 위해 주요 시스템과 부품을 공용화하는 제품 플랫폼을 전기차에도 적용하고 있다.^[1] 전기차의 플랫폼화는 신규 부품 적용에 대한 위험성을 감소시켜 완성차업체가 차량 내의 전장부품을 가격 및 기술 경쟁력을 가진 다른 기업의 부품으로 교체할 수 있도록 하여 새로운 중소·중견기업에게 기회가 확대되고 있다. 하지만 신규 중소·중견기업이 전기차 부품시장에 진출하기 위해서는 제품의 안정성, 적용성 등을 만족해야 하는 어려움이 있다. 본 연구에서는 부품 단위의 기술 개발단계에서 테스트 플랫폼을 활용한 실차 탑재 기반의 차량적용성을 검증하여 전기차 부품 개발시작품의 신뢰성 향상을 지원하고자 한다. 테스트 플랫폼을 활용한 한가지 사례로써, 전기차를 구성하는 전장부품 중 구동모터용 인버터의 차량적용성 평가 결과를 제시하고자 한다. 인버터 개발시작품의 부품단위 시험 후, 테스트 플랫폼에 탑재하여 도심 및 고속도로 주행 모사시험을 통해 차량 적용성과 안정성을 평가하였다.

2. 테스트 플랫폼

2.1 테스트 플랫폼

테스트 플랫폼은 그림1-(a)와 같이 구동모터, 인버터, 배터리, OBC 등으로 구성되며 이와 같은 구성으로 제작한 테스트 플랫폼 시작품은 그림 1-(b)와 같다. 시작품은 H사의 내연기관 차량 플랫폼을 사용한 기존의 전기 트럭을 프레임과 구동 모터(감속기 포함)만 그대로 활용하고 적재함 대신 다양한 개발시작품을 쉽게 탈 부착할 수 있도록 Plate형태로 제작하였다.

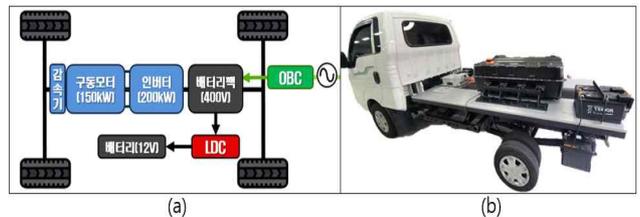


그림 1-(a)테스트 플랫폼 구성, (b)테스트 플랫폼 시작품
 Fig. 1-(a)Test Platform Configuration, (b)Test Platform Prototype

2.2 인버터 개발시작품

전기차 구동 모터용 인버터의 사양은 표 1과 같으며, 회로는 그림 2-(a)와 같이 3상 하프브리지 타입이다. 인버터 200kW 출력 및 효율 96%이상을 달성하기 위해 1200V, 600A의 그림 2-(b)의 RoHM社: SiC MOSFET 모듈을 적용하였다.

표 1 인버터 개발시작품 사양

Table 1 Inverter Development Prototype Specification

스위칭 타입	SiC MOSFET	최소 Vdc	540[V]
스위칭 주파수	10 ~ 20[kHz]	정격 Vdc	650[V]
스위칭 방법	SVPWM	최대 Vdc	720[V]
최대상전류	400[A _{rms}]	효율	97[%]

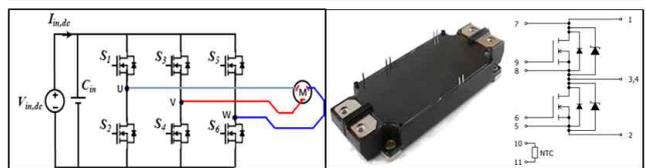


그림 2-(a)인버터 회로, (b)RoHM SiC MOSFET 모듈
 Fig. 2-(a)Inverter Circuit, (b)RoHM SiC MOSFET Module

2.3 배터리팩 방전상황에 따른 MTPA 제어 (부품단위 시험)

인버터 개발시작품의 부품단위 시험을 위해 배터리팩 방전 상황에 따른 MTPA(Maximum Torque Per Ampere) 제어 시험(부품단위 시험)을 진행하였다. 구동 모터의 사양은 표2 와 같으며 구동 모터는 IPMSM이므로 토크와 d축 및 q축 전류는 식 1, 2와 같으며 그 관계를 그림 3-(a)로 나타냈다.

$$T_e = \frac{3}{2}p(\psi_f i_q + (L_{ds} - L_{qs})i_d i_q) \quad (1)$$

$$\begin{bmatrix} i_d \\ i_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -i_s & 0 \\ 0 & i_s \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sin\beta \\ \cos\beta \end{bmatrix} \quad (2)$$

(여기서 p : 극 쌍수, ψ_f : 쇠교 자속, L_{ds} , L_{qs} : d축, q축 인덕턴스, i_d , i_q : d축, q축 전류, i_s : 최대 상전류)

표 2 테스트 플랫폼 구동 모터 사양
Table 2 Test Platform Drive Motor Specification

모터 타입	IPMSM	최고 자속	0.0837[Wb]
극수	8	출력	150[kW]
정격 속도	3,627[rpm]	최대 속도	11,200[rpm]
정격 토크	395[Nm]	Ld	0.000189[H]
상 저항	0.0189[ohm]	Lq	0.000261(max), 0.000105(min)[H]

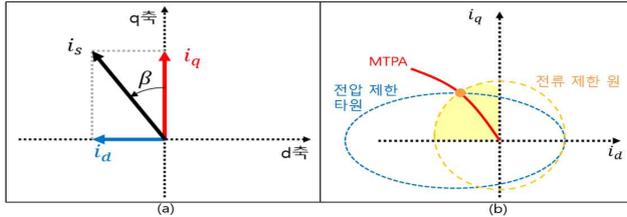


그림 3-(a)d축 및 q축 전류 관계, (b)MTPA 제어
Fig. 3-(a)D and Q-axis Current Relationship, (b)MTPA Control

IPMSM에서의 MTPA제어는 그림3-(b)와 같이 전압 제한 타원과 전류제한 원에 의해 최적의 전류 지령 지점이 정해지므로, 이 지점에 따른 d축 전류와 q축 전류의 각(β)를 찾아야 한다. 따라서 구동 모터의 속도는 Base rpm인 3300rpm으로 고정하고 배터리팩 SOC(State of Charge)가 2~100%인 상황을 모사하여 구동 모터를 최적으로 제어하는 β 를 시험적으로 구했다. 시험 결과는 표 3, 그림4와 같으며, 모든 상황에서 인버터 효율은 계획했던 목표효율 96% 이상이다.

표 3 MTPA 제어 시험 결과
Table 3 MTPA Control Test Results

배터리팩 상황 모사	배터리팩 전압, 전류	지령값	
		Iq[A]	β [°]
SOC 100%, 최대방전	395Vdc, 195A	398	40
SOC 60%, 최대방전	350Vdc, 195A	351	40
SOC 30%, 최대방전	315Vdc, 195A	316	30
SOC 20%, 최대방전	305Vdc, 58.5A	102	25
SOC 2%, 최대방전	280Vdc, 58.5A	95	25
SOC 100%, 과방전	395Vdc, 253A	485	45

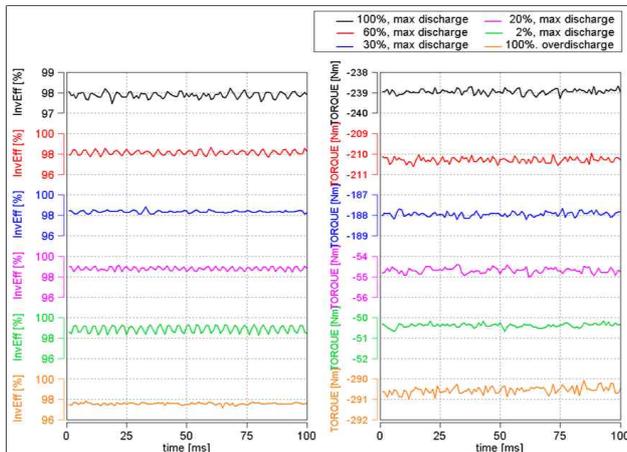


그림 4 배터리 팩 방전 상황에 따른 MTPA 제어 결과
Fig. 4 MTPA Control Results based on Battery Pack Discharge Condition

2.4 실차 탑재 기반 차량적용성 검증

테스트 플랫폼을 통한 실차 탑재 기반 차량적용성 검증을 위해 그림 5와 같이 차량주행 성능시험이 가능한 샤시 다이내모 시스템에 테스트 플랫폼 시작품을 설치하고, 인버터의 입

출력단에 전력 분석계를 설치하였다. 전기차 공인 인증 시험은 주로 도심 주행시험(UDDS)과 고속도로 주행시험(HWFET)을 반복하는 멀티사이클테스트(MCT)를 수행하므로 본 연구에서는 UDDS와 HWFET를 각 1번씩만 수행하였다.

실험 결과는 그림 6과 같으며, 테스트 플랫폼 시작품의 배터리팩 방전전류 제한으로 인해 구동모터가 충분한 토크를 내지 못하여 목표 속도 프로파일의 최고속도인 105km/h를 따라가지 못하고 약 45km/h에서 속도제한이 걸렸다. 하지만 45km/h이하에서는 목표 속도를 잘 추종하므로 차량 제어에는 이상이 없음을 확인하였다. 전력 분석계를 통해 측정된 최대입력은 30kW, 효율은 약 60%로 단품시험 효율인 97%와 약 37%차이가 났다. 배터리팩 방전전류 제한으로 인하여 경부하 구간에서 인버터가 동작하게 되어 다소 효율이 낮게 측정되었다. 추후 방전전류 제한이 높은 배터리팩으로 교체하여 인버터 개발시작품의 차량적용성 검증을 수행하고자 한다.



그림 5-(a)차량 외부, (b)차량 내부
Fig. 5-(a)Vehicle Exterior, (b)Vehicle Interior

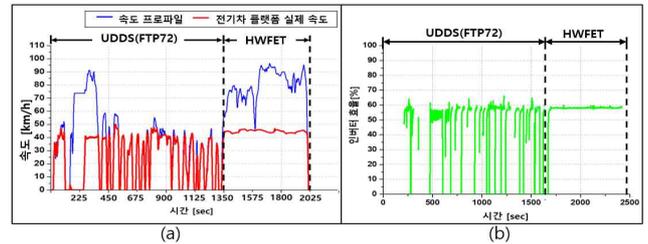


그림 6-(a)시험 결과(속도), (b)시험 결과(인버터 효율)
Fig. 6-(a)Test Result(Speed), (b)Test Result(Inverter Efficiency)

3. 결론

본 연구에서는 전기차 부품의 실차 탑재 기반 차량 적용성 평가를 위해 테스트 플랫폼을 개발하였다. 인버터 개발시작품의 부품단위 시험으로는 배터리팩 방전에 따른 상황을 모사하여 구동 모터 제어 성능을 확인하고, 샤시 다이내모 시스템에 테스트 플랫폼을 설치하여 도심 및 고속도로 주행 모사시험을 통해 인버터 개발시작품의 차량적용성 평가를 하였다. 차량단위 시험을 통해 부품 단위 시험에서 예측하지 못했던 약 45km/h에서의 속도제한 현상을 확인하였고, 45km/h이하에서는 목표 속도를 잘 추종하므로 부분적으로 인버터 개발시작품의 차량적용성 검증을 하였다. 저속 구간 인버터의 경부하 동작에 대해 검증을 하였으며 추후 테스트 플랫폼의 배터리팩을 보완하여 고속 구간 인버터의 차량적용성 평가를 보완할 계획이다.

참고 문헌

[1] Sehyun Yang, "Design and Analysis of Chassis Platform for Modular Vehicle Platform Through Computer-Aided-Engineering Structural Analysis", master's thesis, Dept.M.E., Chonnam Nat'l Univ.