

# 소형경유트럭의 하이브리드 튜닝 안전성에 관한 연구

전상우\* · 권만재\*\* · 안호순\*\*\*

## A Study on the Safety of Hybrid Tuning for Light-duty Diesel Trucks

Sangwoo Jeon\*, Manjae Kwon\*\*, Hosoon An\*\*\*

*Key Words: Diesel-hybrid vehicle(디젤하이브리드 자동차), Tuning(튜닝), Light-duty truck(소형화물트럭), Fuel economy(연료소비율), Particulate emissions(미세먼지)*

### ABSTRACT

This paper is the result of a research on hybrid tuning technology developed to improve the actual fuel efficiency and reduce emissions of in-use light-duty diesel trucks. In this study, a hybrid powertrain was constructed by inserting an electric motor between the diesel engine and manual transmission of an internal combustion engine vehicle and installing a battery. To verify the safety, a test was conducted based on the Korean tuning regulations. In particular, since there has been no case of tuning an internal combustion engine vehicle into a hybrid vehicle in Korea, it was necessary to carry out all procedures to receive tuning approval. The approval process consists of a technical review, safety verification test, and application for tuning approval. As a result, the test vehicle was approved for tuning because both the technical review and vehicle test results were suitable. Therefore, this study confirmed the safety of diesel hybrid tuning technology, and laid the foundation for the research and development of technologies to tune into an eco-friendly vehicle as well as the activation of related industries.

### 1. 서론

최근 미세먼지로 인한 대기오염 문제가 사회적으로 대두되면서 경유자동차는 미세먼지의 주범으로 인식되고 있으며, 정부 관계부처 합동으로 작성된 ‘미세먼지 관리 종합대책, 2017년’에 의하면 경유차는 수도권을 기준으로 미세먼지 배출의 23%를 점유하는 1순위 배출원으로 보고되고 있다.<sup>(1)</sup> 따라서 정부는 대기질 개선을 위해 노후 경유차 조기폐차 지원, 후처리장치 장착 지원, LPG 엔진으로의 개조 등 경유자동차에 대한 다양한 정책 및 사업을 펼치고 있는 실정이다.

한편 국내 전자상거래 이용률이 2016년 52%에서 2019년 64%로 가파르게 상승하고 있으며,<sup>(2)</sup> 물류운송 분야에서는 동력성능과 연비가 우수한 경유트럭의 대체제가 다양하지 않아 경유자동차 관리를 위한 정부의 노력과는 반대로 경유자동차 수요가 꾸준히 증가하고 있다. 또한 생계형 영세운송사업자가 대다수인 소형화물차 운전자들에게 기존 트럭을 처분하고 신차를 구입하는 것은 경제적 부담이 크기 때문에 향후 소형화물차의 평균 차령이 꾸준히 증가할 것으로 예측된다.<sup>(3)</sup> 따라서 물류운송 분야에서 운행 중인 소형화물차를 대상으로 미세먼지 감축을 위한 대책이 필요한 하다고 할 수 있겠다.

운행 중인 소형화물차의 미세먼지를 감축하기 위한 현실적인 방안으로는 하이브리드로 및 전기자동차로의 튜닝, 후처리장치 부착 등이 있다. 계층분석법(AHP)을 활용한 연구에 따르면 경제적·기술적·정책적 타당성을 고려

\* 한국교통안전공단 자동차안전연구원, 책임연구원  
 \*\* 한국교통안전공단 자동차안전연구원, 연구원  
 \*\*\* 한국교통안전공단 자동차안전연구원, 선임연구위원  
 E-mail: asterix@kotsa.or.kr

하였을 때 하이브리드 튜닝 기술이 최적의 방안인 것으로 평가된 연구결과도 있다.<sup>(3)</sup>

따라서 본 논문은 운행 중인 소형화물 경유트럭을 하이브리드 자동차로 튜닝하여 실차에 적용한 튜닝기술의 안전성을 확인한 연구로써, 본 연구의 성과물을 통해 실제 물류운송에 투입할 수 있는 기술로 자리 잡는 계기를 마련하고자 한다.

## 2. 디젤하이브리드 튜닝기술

### 2.1. 적용대상

본 연구에서는 택배물류분야에서 많이 운행되고 있는 1톤 소형화물트럭을 대상으로 하이브리드 튜닝기술을 적용하였다. 배출가스 규제 기준으로는 Euro 4 및 Euro 5 엔진이 해당되며, 시험차량의 변속기는 수동 6단이다. Fig. 1과 Table 1에 튜닝기술이 적용된 자동차의 외관 및 제원을 나타내었다.



Fig. 1 Test vehicle(diesel-hybrid truck)

Table 1 Specifications of test vehicle

Model	Porter II	Engine	D4CB
Model year	2014	Motor	MO (IPMSM)
Transmission	6-Speed Manual	Max power	133 ps @3,800 rpm
Curb wgt.	1,880 kg		32 kW @2,050 rpm
Payload cap.	800 kg	Displacement	2,497 cc (4 cyl.)
Gross wgt.	2,875 kg	Battery	216 V/15 Ah

### 2.2. 하이브리드 튜닝기술

본 연구에 사용된 시험차량에는 하이브리드 튜닝을 위해 구동전동기와 구동축전지가 추가되었다. 엔진과 변속기 사이에 구동전동기를 장착하고, 삽입된 구동전동기의 두께만큼 프로펠러 샤프트의 길이를 단축·가공하여 적용

하였다. 구동축전지는 BMS(Battery Management System) 및 PCU(Power Control Unit, 인버터 및 컨버터)와 함께 적재함 전면에 장착하였다. 따라서 차량의 적재량이 1톤에서 800kg으로 변경되었다. 또한 클러치 및 변속레버의 작동방식을 변경하였는데, 변속레버 장치에 센서를 설치하여 운전자의 변속 의도 및 레버 위치를 감지할 수 있도록 하였다. 아울러 클러치 페달 작동 없이 클러치를 작동시키도록 차량 하부에 클러치 오퍼레이터를 장착하여 클러치 작동을 자동화하였다. Fig. 2에 하이브리드 튜닝기술의 개략도를 나타내었다.

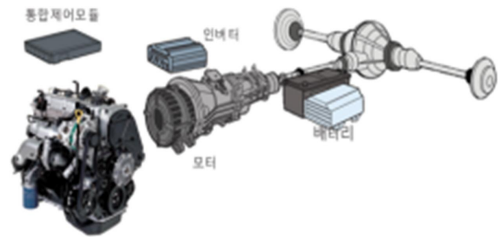


Fig. 2 Powertrain of diesel-hybrid tuning vehicle

## 3. 안전성확인

국내에서 하이브리드 자동차로 튜닝하고자 하는 경우, 국토교통부 고시 '자동차 튜닝에 관한 규정'(이하 튜닝고시) 제3장(전기자동차의 튜닝)에 의거하여 안전성확인을 받도록 규정하고 있으며, 안전성확인은 기술검토와 실차 및 단품 시험을 실시하도록 되어 있다. 안전성확인의 절차를 Fig. 3에 나타내었다.



Fig. 3 Procedure of safety test

### 3.1. 기술검토

#### 3.1.1. 절차 및 방법

기술검토는 튜닝고시 제15조에 의해 신청서와 함께 제

출된 구비서류(변경 전·후 주요제원 및 성능 대비표, 튜닝한 구성품 및 작동원리 등)를 검토하고, 내·외부 전문가의 자문 등을 거쳐 튜닝고시 별표4(Table 2)에서 정하고 있는 안전성확인 시험항목에 대한 시행가능 여부를 검토하여 선정한다. 각 시험항목은 ‘자동차 및 자동차부품의 성능과 기준에 관한 규칙’(이하 안전기준)에서 정한 기준에 따라 시험을 실시하고 있다.

Table 2 List of safety test on hybrid tuning vehicle

시험항목	안전기준	시험방법
고전원전기장치안전성시험	제18조의2	실차
제동능력시험	제90조	실차
바퀴잠김방지식 주제동장치를 설치한 자동차의 제동능력시험	제90조	실차
조향성능시험	제14조제1항제4호 및 제89조제2항	실차
전자과적합성 시험	제111조의2	실차
일반안전의 적정성확인	제4조~제58조 (제15조, 제18조의3, 제35조, 제36조 제외)	실차
주행시험(내구 3,000km)	-	실차
구동축전지안전성시험	제18조의3	단품
원동기 출력시험 (*구동전동기 출력시험)	제106조	단품
기타 성능시험대행자가 안전상 필요하다고 인정하는 시험	-	실차 또는 단품

\* 자동차 튜닝에 관한 규정(국토교통부 고시) 별표4

### 3.1.2. 기술검토 결과

시험자동차에 대한 기술검토 결과, 튜닝고시에서 정하고 있는 시험항목을 모두 시험하지만, 시험자동차는 ABS 장치가 장착되어 있지 않으므로 ‘바퀴잠김방지식 주제동장치를 설치한 자동차의 제동능력시험(ABS 제동시험)’은 제외되며, 안전상 필요하다고 판단되는 추가 시험항목은 별도로 추가되지 않았다. 따라서 총 10개 항목 중 8개 항목을 시험하며, 구동전동기 및 구동축전지 출력시험은 단품 상태로, 그 외의 시험은 실차 상태로 실시한다.

### 3.2. 안전성확인 시험

기술검토 결과 시험항목은 총 8개이며, Table 2에서와 같이 안전기준에서 규정하는 시험은 7개 항목이다. 주행

시험은 별도의 규정이 없기 때문에 본 연구에서 시험방법 및 절차를 도출하였다. 시험차량은 튜닝고시에 의거하여 운행 중인 자동차의 등록을 말소하여 시험하였다.

#### 3.2.1. 안전기준에서 규정하는 시험

##### 3.2.1.1. 시험방법

Table 2의 시험항목들에 대한 상세 시험절차 및 방법은 ‘자동차 및 자동차부품의 성능과 기준 시험세칙’에서 정하고 있다.

고전원전기장치안전성 시험은 직류 60~1,500V, 교류 30~1,000V의 전기장치에 대한 접근성 및 저항 등을 측정함으로써 고전원으로부터의 안전성을 시험하며, 제동능력 및 조향성능 시험은 제동 및 조향장치의 성능평가와 고장 발생 시의 안전성 등에 대해 시험한다. 전자과적합성 시험은 하이브리드 튜닝 차량에서 발생하는 전자파를 측정하고, 전자파로 인한 전장장치의 오작동 영향성에 대해 시험한다. 일반안전의 적정성확인은 하이브리드 튜닝으로 증가한 총중량 등 변경된 제원 등을 측정하여 그로인한 안전성 및 영향성을 확인한다. 구동축전지 시험은 다양한 조건에서의 배터리 안전성을 시험하고, 구동전동기 시험은 모터의 출력을 확인한다.

##### 3.2.1.2. 시험결과

안전성확인 시험결과는 Table 3의 내용과 같다. 안전기준에서 시험방법을 정한 7개 항목 모두에서 시험결과가 적합한 것으로 나타났으며, 따라서 하이브리드 튜닝 자동차에 대한 안전성 확인이 완료되어 시험성적서를 확보하였다.

Table 3 Results of safety test

시험항목	시험방법	시험결과
고전원전기장치안전성시험	실차	적합
제동능력시험	실차	적합
조향성능시험	실차	적합
전자과적합성 시험	실차	적합
일반안전의 적정성확인	실차	적합
주행시험(내구 3,000km)	실차	적합
구동축전지안전성시험	단품	적합
원동기 출력시험	단품	적합

#### 3.2.2. 주행시험(내구 3,000km)

튜닝고시 별표 4(안전성확인 시험항목)에서는 주행시

험(내구 3,000km)이 명시되어 있지만, 안전기준이나 세부 시험방법이 제시되어 있지 않다. 또한 현재까지 국내에서 하이브리드 튜닝기술을 적용한 사례가 없기 때문에 내구시험 방안에 대한 사례가 없으므로 하이브리드 튜닝 자동차 및 부품에 대한 안전성·내구성·신뢰성을 평가할 수 있는 시험절차 및 방법의 개발이 필요하다.

하이브리드 튜닝기술은 운행자동차에 적용되므로 차체 및 조향장치 등 튜닝기술의 영향을 적게 받는 기존 구성품의 내구성은 최초 제작 당시 자동차제작사의 다양한 내구시험을 통해 검증되었다고 판단할 수 있다. 따라서 하이브리드 튜닝 자동차의 내구성 평가는 튜닝에 의해 변경되는 핵심부품 및 시스템의 장착과 관련된 내구성 확인에 주안점을 두어야 한다.

### 3.2.2.1. 주행시험 경로

주행내구시험은 한국교통안전공단 자동차안전연구원(KATRI)의 주행시험장과 실도로에서 수행되었다. 주행시험장은 다양한 조건의 도로가 있으며, 이 중 고속주회로, 등판로, 비포장도로를 유기적으로 이동하면서 튜닝으로 인해 변경된 핵심부품과 시스템의 내구성을 평가하고자 하였다. 주행시험장의 위성사진을 Fig. 4에 나타내었다.

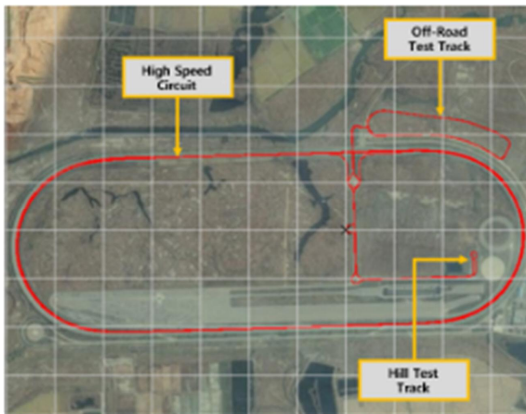


Fig. 4 Route of driving test on proving ground

또한 본 연구의 튜닝기술이 택배운송용 자동차에 적용될 것을 고려하여 내구시험 방안에 실도로 주행을 포함하였다. 택배트럭이 물류센터로부터 배송지가 밀집한 도심으로 이동하는 경로(국도 및 지방도 주행), 도심지 내에서 각 배송지로 이동하는 경로( 시내주행)를 조합하여 주행 경로를 설정하였다. 도심지에서의 택배운송을 모사하기

위해 경기도 최대 도시인 수원시를 시험 지역으로 선정하였으며, 자동차안전연구원(화성시)에서 수원시 도심지(일월공원 주차장)까지 왕복 이동하는 것을 물류센터에서 도심으로 이동하는 주행으로 가정하였다. 실도로 주行的 시내주행 세부경로는 '일월공원주차장→수원중부경찰서→경기과학고등학교→장안구청→수원북중학교→장안문사거리→화서역→북수원홈플러스→권선구청→일월공원주차장'으로 구성하여 도심지 내에서 운행하는 택배트럭의 이동 경로를 모사하였다. 실도로 주行的 세부경로 위성사진을 Fig. 5에 나타내었다.

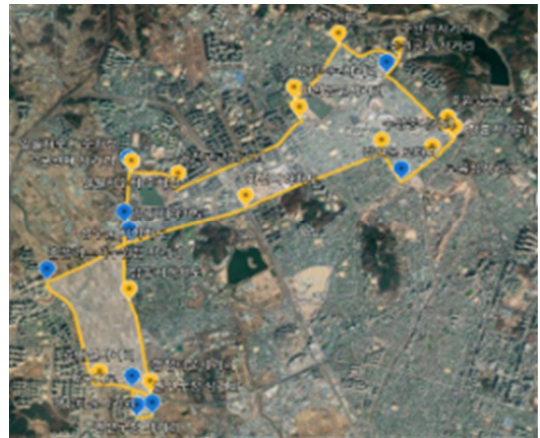


Fig. 5 Route of driving test on the real road

### 3.2.2.2. 시험모드 및 방법

하이브리드 시스템의 고전원전기장치 작동부하는 급가·감속 및 등판 시에 변화가 심하며, 에어컨 및 히터 작동시 부하가 더욱 크다는 특징이 있다. 따라서 시험모드에 급가·감속을 반복하는 구간을 포함시키고 시험 중 에어컨을 작동시켜 모터, 배터리, PCU 등 고전원전기장치의 내구성을 평가하는데 초점을 두었다. 주행시험장 시험모드 및 속도 프로파일을 Fig. 6과 Table 4에 나타내었다.

주행시험장의 등판로에서는 시험차량이 20% 구배의



Fig. 6 Test cycle of driving test on the proving ground

Table 4 Schedule of driving test on the proving ground

Test Site	Test Road	Mileage
Proving Ground (KATRI)	Hill Test Track	abt. 0.03 km
	High Speed Circuit	abt. 34 km
	Off-Road Test Track	abt. 3.5 km
	Road Between Test Roads	abt. 2.97 km
	1 Cycle	40.5 km
	1 Day (6 Cycles)	243 km
Subtotal	Total 9 Days	2,187 km
Real-Road (Suwon city)	Hwaseong ⇄ Suwon	abt. 60 km
	Urban Driving Cycle	abt. 21 km
	1 Day (5 Cycles)	165 km
Subtotal	Total 5 Days	825 km
Total		3,012 km

등판로에 진입한 후 정차했다가 재출발하는 것을 5회 반복하도록 하였으며, 고속주회로에서는 전부하(WOT)로 100km/h까지 순차적으로 변속하며 급가속하고 60km/h까지 타행주행으로 감속한 후 주제동장치로 감속하여 정지하는 것을 반복하는 구간을 삽입하였다. 또한 동일한 절차로 100km/h까지 가속했다가 60km/h까지 감속한 후 100km/h까지 재가속하는 것을 반복하는 구간을 삽입하여 고전원전기장치에 많은 부하가 가해지도록 설정하였다. 이후에는 40km/h, 70km/h, 100km/h로 정속주행하는 구간을 추가하였고, 비포장로는 도로상태에 따라 20~40 km/h로 주행하였다. 시험 중 차량의 에어컨은 항상 가동하도록 하였다.

### 3.2.2.3. 평가방법 및 결과

본 튜닝기술의 핵심부품으로는 구동전동기, 구동축전지, PCU, 전기식 워터펌프 등이 있다. 시험차량이 3,000 km 주행하는 동안, 750km 주기로 각 부품에 대하여 누유 및 누수, 균열 및 파손, 배선의 단락·마모·변색 등을 육안으로 확인하였으며, 특이사항이 발견되지 않았다.

시험차량의 BMS가 정상적으로 작동해야만 배터리 파손 방지 및 수명을 연장하고 차량 기능에 문제를 일으키지 않는다. BMS의 주요한 역할은 배터리 열관리 및 배터리 잔존량(SOC, State of Charge) 관리이다.<sup>(4)</sup> 배터리의 온도 관리가 적절히 이루어지지 않으면 배터리의 수명 단축 및 파손을 일으킬 수 있다.<sup>(5-7)</sup> 또한 SOC 관리 역시 안전성 측면에서 매우 중요하다. SOC 관리가 적절히 이루어지지 않으면 전력손실로 인한 수명 단축을 야기할 수 있으

며, 과충전 및 과방전으로 인해 화재나 폭발 등을 발생시킬 수 있다.<sup>(8-9)</sup> 또한 인버터의 경우에도 온도가 수명에 영향을 미친다.<sup>(10)</sup> 따라서 주행시험 중 취득한 데이터를 바탕으로 배터리의 온도 및 SOC, 인버터의 온도가 주행 중 적정 범위 내에서 유지되는지 모니터링 하였으며, 고전원전기 시스템의 냉각을 담당하는 전기식 워터펌프의 정상작동 여부도 함께 확인하고자 하였다.

본 튜닝기술의 배터리 적정 온도는 -20~65°C이며, 인버터 적정 온도는 -40~85°C이다.

Table 5 Battery/inverter temp. and SOC during driving test

No.	Battery Temp. (°C)	Inverter Temp. (°C)	SOC (%)	Notes
1	13 ~ 60	20 ~ 75	57 ~ 95	P. G.
2	15 ~ 60	21 ~ 72	66 ~ 95	P. G.
3	16 ~ 60	20 ~ 74	66 ~ 95	P. G.
4	15 ~ 64	21 ~ 74	60 ~ 95	P. G.
5	17 ~ 60	21 ~ 68	59 ~ 95	P. G.
6	10 ~ 53	15 ~ 64	57 ~ 95	P. G.
7	11 ~ 60	15 ~ 65	57 ~ 95	P. G.
8	15 ~ 60	19 ~ 67	53 ~ 95	P. G.
9	16 ~ 64	20 ~ 66	68 ~ 95	P. G.
10	15 ~ 63	20 ~ 66	68 ~ 95	Real-Road
11	19 ~ 61	20 ~ 65	72 ~ 95	Real-Road
12	17 ~ 64	20 ~ 64	78 ~ 95	Real-Road
13	17 ~ 64	21 ~ 66	69 ~ 95	Real-Road
14	18 ~ 61	22 ~ 69	69 ~ 95	Real-Road

주행 시 SOC의 하한치 및 상한치는 각 40%, 95%로 설정되었다. 총 14일의 주행시험 동안 취득한 배터리 온도, SOC, 인버터 온도 범위를 정리하여 Table 5에 나타내었다.

배터리 및 인버터 온도가 전체 주행 중 적정온도를 벗어나지 않았고, SOC는 주행 중 하한치 및 상한치를 초과하지 않았음을 확인하였다. 또한 온도 관리가 적절하게 이루어진 것을 토대로 전기식 워터펌프도 전체 주행 중 정상적으로 작동했다고 판단하였다.

주행시험(내구 3,000km) 결과, 하이브리드 튜닝 자동차 및 부품의 안전성과 구조적 내구성, 시스템의 신뢰성이 확보되었다고 할 수 있다.

## 4. 하이브리드 튜닝승인

안전성확인이 완료된 튜닝기술을 실제 운행 중인 등록

자동차에 적용하려면 자동차관리법 및 튜닝고시에 따라 튜닝승인을 받아야 한다. 튜닝승인은 튜닝기술 관련 자료, 기술검토 결과 및 안전성확인 시험성적서 등을 검토하여 튜닝승인서가 발급되며, 튜닝작업이 완료된 자동차로 튜닝검사를 받으면 튜닝검사 증명서를 발급받는다.

본 연구에서는 물류기업의 운송업무 투입을 목적으로 안전성확인이 완료된 자동차와 동일한 형식의 자동차 4대를 대상으로 튜닝승인을 신청하였다. 튜닝승인은 Fig. 7과 같은 절차를 거쳐 최종적으로 승인서를 발급받았다.



Fig. 7 Procedure of hybrid tuning approval

## 5. 결론

본 논문은 운행 중인 소형경유트럭의 실연비 향상과 미세먼지 저감을 위해 개발된 하이브리드 튜닝기술을 실차에 적용함으로써, 제도적 접근을 통해 기술의 안전성과 신뢰성을 확인하고자 수행되었다. 그 결과 법령에서 정한 기술검토와 실차시험을 완료하고 튜닝을 승인받음으로써 실제 물류운송에 적용할 수 있는 기술임을 확인하였다.

또한 국내에서는 아직까지 내연기관 운행차를 하이브리드로 튜닝한 사례가 없었기 때문에 관련 기술력을 확보한 연구성과에 중요한 의의가 있다고 여겨지며, 본 기술의 적용 대상인 소형경유트럭에 대한 사회적 관리 측면에서도 큰 의미가 있다고 할 수 있겠다. 아울러 실증사업 등을 통해 본 기술의 내구성이나 신뢰성 등에 대한 추가적인 검증이 병행된다면, 친환경 튜닝 자동차의 보급을 더욱 활성화 할 수 있을 것이다.

## 참고문헌

- (1) 관계부처 합동, 2017, “미세먼지 관리 종합대책”.
- (2) 신지형, 2020, “전차상거래 이용행태 분석”, KISDI STAT REPORT, Vol. 20-16.
- (3) Y. M. Kwon, J. H. Byun and N. W. Kang, 2019, “A Study on the Alternative Selection of Eco-friendly Modification Techniques for Small Diesel Trucks”, Journal of Korean Society of Transportation, Vol. 37, No. 2, pp. 135~147.
- (4) 박현석, 구본용, 엄태홍, 최후락, 최창율, 2005, “하이브리드 전기자동차의 BMS ECU 개발 및 모니터링”, 한국자동차공학회 Symposium, pp. 38~42.
- (5) K. B. Kim, M. H. Shin, S. C. Choi and C. Y. Won, 2014, “Charging/Discharging Control Technique of Lithium-Ion Battery for Life Optimization”, Proceedings of KIIEE Annual Conference, pp. 112.
- (6) T. H. Eom, M. H. Shin, J. M. Kim, J. Lee, Y. R. Lee and C. Y. Won, 2016, “Analysis of internal resistance according to temperature of Li-ion battery”, Proceedings of KIIEE Annual Conference, pp. 136~136.
- (7) T. H. Eom, M. H. Shin, J. Lee, J. M. Kim and C. Y. Won, 2016, “Analysis to battery life according to charge/discharge temperature of Li-ion battery”, Proceedings of KIIEE Annual Conference, pp. 137~137.
- (8) S. H. Kim, M. H. Shin, T. H. Eom, J. Lee, J. M. Kim, Y. S. Lee and C. Y. Won, 2017, “Battery Loss Analysis according to Li-ion Battery SOC”, Proceedings of KIIEE Annual Conference, pp. 48~48.
- (9) S. B. Shim, C. H. Lee and S. K. Kim, 2016, “Study on the Explosion and Fire Risks of Lithium Batteries Due to High Temperature and Short Circuit Current”, Fire Science and engineering, Vol. 30, No. 2, pp. 114~122.
- (10) H. S. Seo, D. Shin, 2018, “Development of Parallel and Direct Cooling System for EV/FCEV Inverter”, SAE Technical Paper, 2018-01-0454.