



저작자표시 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.
- 이차적 저작물을 작성할 수 있습니다.
- 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#) 

碩士學位論文

중고전기차 배터리 성능평가와
차량가격과의 상관관계 연구

濟州大學校 産業大學院

에너지응용시스템학부 電氣工學科

崔 玆 碩

2024 年 2 月



중고전기차 배터리 성능평가와 차량가격과의 상관관계 연구

指導教授 李 開 明

崔 玆 碩

이 論文을 工學 碩士學位 論文으로 提出함

2023 年 12 月

崔玆碩의 工學 碩士學位 論文을 認准함

審査委員長 _____ (印)

委 員 _____ (印)

委 員 _____ (印)

濟州大學校 産業大學院

2023 年 12 月

Study on the Correlation between Residual Value
and Battery Inspection Data of Used EVs.

Hyun-Seok Choi

(Supervised by Professor Gae-Myoung Lee)

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE

MAJOR OF ELECTRIC ENGINEERING
FACULTY OF APPLIED ENERGY SYSTEM
JEJU NATIONAL UNIVERSITY

2024. 02.

목 차

LIST OF FIGURES-----	I
LIST OF TABLES-----	II
ABSTRACTS-----	III
1. 서론	
1.1 연구 배경 및 목적-----	1
1.2 선행 연구의 고찰-----	2
1.3 연구 내용-----	3
2. 중고전기차 배터리 성능평가 항목 및 평가 방법	
2.1 중고 내연기관 자동차의 성능점검 사례-----	5
2.2 중고 내연기관 자동차와 중고 전기차의 항목 검토 비교-----	9
2.3 중고 전기차 배터리 평가 항목 및 평가 방법-----	10
2.4 중고 전기차 배터리 성능평가 항목에서 SOH의 적절성 및 SOH이외의 항목 조사-----	13
2.5 대상차량의 선정 및 Data Collection과정-----	14
3. 중고전기차 배터리 성능평가와 차량가격과의 상관관계 분석	
3.1 데이터의 수집-----	16

3.2	기본검증 : 차량의 주행거리와 SOH의 상관관계 분석	-----	19
3.3	차량가격과 SOH값의 상관관계 분석	-----	19
3.4	차량가격과 BMS/OBC 충전 오류코드 발생점수와 상관관계		20
3.5	차량가격과 SOH+충방전 정상작동성 복합 (복합 “B” score)상관관계	-----	21
3.6	차량가격과 기존 성능점검 항목 등과의 상관관계	--	21
3.7	차량가격과 배터리 복합 점수표에 따른 상관관계	---	22
3.8	중고 전기차 차량가격의 조사	-----	23
3.9	중고 전기차 배터리 평가과 차량가격과의 상관관계 분석 시사점	-----	23
4. 결과 고찰 및 제안			
4.1	결과 고찰	-----	24
4.2	중고전기차 평가모델 제안	-----	24
5. 결론			
	결론	-----	25.

LIST OF FIGURES

그림 1 . 우리나라 연도별 중고차 판매 댓수,한국자동차산업협회 -----	5
그림 2 . 국가별 신차 판매량대비 중고차 판매량,한국자동차산업협회-----	5
그림 3 . 중고차 거래사이트 “엔카닷컴” 전기차 성능평가 고지 내용 -----	8
그림 4 . 방전심도와 충방전한계횟수와의 관계 -----	10
그림 5 . 코나 전기차 배터리 탈착 평가 모습 /민테크 -----	11
그림 6 . 휴대폰 App.을 통한 중고전기차 배터리 상태 확인 예시 조선일보--	12
그림 7 . 제주도 산간에 방치중인 BMW전기차 i3모델 200대 사진 -----	15
그림 8 . BMW i3 차량에서 SOH값 및 충/방전 오류 Log 조사 화면 -----	16
그림 9 .주행거리와 SOH값의 상관계수 -----	19
그림10. SOH값과 차량가격의 상관 계수 -----	19
그림 11 . 차량가격과 배터리 충방전 오류코드 지표와의 상관계수-----	20
그림 12. 차량가격과 SOH와 충방전시스템 정상작동 복합 “B” Score와의 상관계수 -----	21
그림 13 차량가격과 기존 성능점검 항목 상관 계수-----	21
그림 14 차량가격과 1)SOH 2)배터리 및 충전 시스템 정상작동성 3)기존 성능점검항목/육안검사 점수 1)+2)+3)복합 점수표에 따른 상관관계-----	22

LIST OF TABLES

표 1. 연도별 폐차주기/평균 신차 보유기간, 자동차공업협회,2021-----	6
표 2. 중고자동차의 성능점검기록부 작성과 관련된 법규 /자동차관리법규---	7
표 3. 내연기관 자동차용 성능점검기록부 서식(원동기와 변속기 부분)-----	8
표 4. 내연기관 Vs 전기자동차 부품 수 및 가격비중 비교 도표-----	9
표 5. SOH의 측정 방법과 장단점 -----	13
표 6. BMW i3 sol+ 모델에 설치된 삼성 SDI 배터리 개요 -----	15
표 7. 조사한 중고전기차 평가 표 -----	17
표 8. BMW i3/ 2016년식 200대 제주도/경매 출품 차량 총 Data Set 제공: 제주도 자동차평가연구소(주)-----	18
표 9. SOH / 배터리 및 충방전 시스템 정상작동성 / 기존 성능점검 항목 중심 육안검사 점수 복합 점수 표-----	22
표 10. 각 요소별/ 복합 요소별 중고전기차 차량가격과의 상관계수 (BMW i3 2016년식 제주도 렌터카 경매진행 Sample기준)-----	23

ABSTRACTS

We live in an era where each country's activities to reduce carbon dioxide emissions to prevent global warming are now a global task that everyone agrees on and empathizes with.

The operation of electric vehicles, one of the important actions to accomplish this global task, is now increasingly becoming a trend.

Now that 10 years have passed since the commercial launch and daily operation of electric vehicles began in earnest, it is normal for not only sales of new electric vehicles but also distribution of used electric vehicles to increase.

However, unfortunately, the sale of these used electric vehicles does not yet have reasonable and effective vehicle evaluation standards, so the price formation is unstable, the distribution speed is slow, and as a result, transactions are not active.

In this research study, in order to identify these real-life problems and present a realistic evaluation model for used electric vehicles, we focused on the evaluation of the main power battery attached and installed in used electric vehicles and compared them with the vehicle prices that will be reflected in the market. The correlation was analyzed.

First, we explored the direction of electric vehicle evaluation through the evaluation method and market price formation of used internal combustion engine vehicles that have been on the market for over 100 years and have over 20 million domestic vehicles in operation.

Although electric vehicles have already been sold in the Korean market and more than 500,000 units are in operation, it has been difficult to obtain data for related research because battery manufacturers and vehicle manufacturers operate in closed spaces due to quality and security issues with their electric vehicle products.

Coincidentally, I learned of the process of selling an electric vehicle of a bankrupt rental car company in Jeju Island through a court auction, and was able to obtain related data through a used car evaluation company that evaluated the electric vehicle. In order to secure the validity of the sample for the purpose of evaluation and correlation analysis with price using the presented materials and data, a task was carried out to ensure that conditions other than the main power battery for driving were investigated at the same or similar level as possible. The vehicle was BMW's i3 model, which was released 6–7 years ago and was operated only in one area of Jeju Island. Vehicles that were unsuitable as a sample were excluded and analyzed.

First, after organizing the data

Basically, to verify the validity of the sample, we verified with the given sample whether a long driving distance lowers the SOH, and a significant correlation was found with a correlation coefficient of -0.502 .

Next, we analyzed the correlation between SOH, a representative value representing the remaining life of the battery, and vehicle price, and found that the correlation coefficient was 0.408 , which was a significant positive correlation, but not at a very high level.

In the case of electric vehicles, it was determined that the normal operation of the charging system in addition to the battery was important to customer quality. A charging operability index was created and a correlation analysis was conducted, and a positive correlation of 0.409 was found, which was also a significant correlation.

When analyzing the correlation with vehicle price by combining the above two, i.e., battery SOH value and charging performance index, the correlation coefficient was 0.577 , showing a somewhat high correlation.

In addition, a correlation analysis was conducted between the three items

included as part of the electric vehicle section in the current internal combustion engine vehicle evaluation items and the operation of the drive motor with relatively few failures and the vehicle price, showing a low level of correlation with a correlation coefficient of 0.216.

Lastly, the SOH value, normal operation of the charging system, and existing performance inspection items were combined in various ratios and distributed at a final ratio of 0.75:0.15:0.10, and then a correlation analysis was performed, showing the highest level of correlation of 0.586.

In conclusion, in the case of used electric vehicles, it was concluded that it is desirable to evaluate used electric vehicles by complex evaluation of not only the remaining life of the battery, but also the normal operation of the charging system and, although low probability, external evaluation such as normal connection of high power cables, which are existing evaluation items.

We hope that by creating an evaluation standard for used electric vehicles centered on reasonable and effective electric vehicle batteries that will be accepted in this market, the used electric vehicle trade will become more active and further contribute to preventing global warming by reducing carbon dioxide emissions.

.

1. 서론

1.1 연구 배경 및 목적

오늘날 화석연료의 사용량이 증가함에 따라 이산화탄소 배출량이 증가하였고 이로 인해 지구의 대기와 지표면 온도가 상승하여 발생하는 각종 자연 재해와 기상이변은 인류가 감당해 내기 어려운 국면으로 진입하고 있다.

1988년 유엔총회의 결의에 따라 기후변화에 대한 과학적 규명을 사명으로 한 기구 IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change)가 설치되었고, 1992년 유엔 주도하에 기후변화에 관한 기본이 되는 협약인 UNFCCC(United Nations Framework Convention on Climate Change)가 체결되었다[1].

이 협약의 당사국들이 1997년 교토에서 개최된 제3차 당사국회의에서 인류활동에 의해 지구온난화가 야기되고 있다는 과학적 근거를 바탕으로 온실가스 감축에 대한 의미 있는 교토의정서가 채택되었다[2].

이제 인류는 화석 연료의 사용량 감소와 이산화탄소 발생이 적거나 없는 대체 에너지 개발 그리고 탄소 발생량의 감소를 위하여 다양한 노력을 하고 있다. 특히 이산화 탄소 발생량이 상대적으로 많은 비중을 차지하는 내연기관 자동차의 경우 유로 7 등에 의한 환경 규제가 시행되고 대체 에너지원 개발과 함께 10년 전부터는 전기자동차의 판매와 운행이 증가하고 있는 상황이다[3, 4].

이러한 탄소 배출량 감소와 그린에너지 활용 등 범 지구적 과제의 일환으로 국내에서도 판매 유통되기 시작한지 이제 10년이 도래하는 전기차의 경우에도 내연기관 자동차처럼 중고차 거래가 활성화 되어야 한다. 중고 전기차 거래 가격도 안정화 되어야 전기차 신차 판매 뿐 아니라 전체적인 전기차의 유통량 증가를 통한 전기차 사용 대수 증가를 이루어 낼 수 있다. 하지만 안타깝게도 전기차 신차의 유통량은 늘고 있지만 늘어난 전기차 운행 대수에 걸맞는 충전 인프라와 함께 중고 전기차 거래시스템도 아직 정립이 안되어 있고 거래 기준도 없어 개선이 시급한 시점이다[5, 6].

오랫동안 시장과 업계의 노력으로 자리 잡은 내연기관의 중고 차량 평가와 같이 중고 전기차에 대한 평가와 가격 산정의 합리적인 연결을 위한 연구나 실험 및 관련 데이터의 축적이 필요하다[7]. 중고 차량의 가격을 결정 하는 요소에는 여러가지가 있고 특히 전기차의 경우 내연기관 자동차와는 그 에너지 충전 저장

활용 방식이 완전 다르다고 할 수 있다.

이에 다른 요소 보다는 본 연구에서는 중고 전기차의 배터리평가와 그 거래 가격과의 상관관계를 살펴 보고자 한다. 내연기관 중고차 평가에서 중요한 비중을 차지 하고 있는 엔진(원동기)과 미션(변속기)에 상응하는 중고 전기차 배터리에 대한 평가 데이터를 취득하고 분석한다. 어떠한 평가 항목을 선정하는 것이 유효한 지는 차량가격과의 상관 관계를 조사하여 밝히고자 한다. 향후 점점 유통량이 증대할 중고 전기차에 대한 가능한 합리적 가격 평가 기준을 제시하고자 하며, 이러한 연구를 통해 중고 전기차의 거래와 나아가 전기차의 신차 판매 증가에도 기여하여 결과적으로 이산화탄소 배출량 감소 및 지구 온난화 방지 활동의 일환으로 연결 되어 지기를 기대한다.

1.2 선행연구의 고찰

중고 전기차의 배터리 평가에 대한 연구보다는 대부분 배터리 사용 중/사용 후 전기에너지 잔존 량 측정 방법 혹은 여러가지 실험과 연구로 밝혀진 배터리의 E.O.L (End of Life) 값을 기반으로 하는 폐배터리 자체의 재사용 및 재활용 [8] 기준에 관한 선행연구 논문이 다수가 있다[9].

또다른 선행연구들은 어떠한 사용 환경이 배터리의 수명을 단축하거나 연장하는 지에 대하여 검토하였으며, 선행연구에서 제시한 배터리의 잔존가치를 조사 연구하는 방법 [9]을 중고전기차 배터리 평가 항목이나 시스템으로 확대 적용하고자 한다.

적지 않은 선행 연구에서 공통적으로 제시하고 있는 배터리의 상태를 나타내는 몇 가지 지표 SOH(State of Health), SOC(State of Charge), SOB(State of Balance), SOP(State of Power)중에서 특히 사용 기간이나 운행거리 등 실질적인 사용도 평가에 적합하다고 판단되는 SOH값을 위주로 중고 전기차 가격과의 상관관계를 파악하고자 한다.

배터리 잔존 수명을 나타내는 S.O.H에 대한 논문들은 아직은 첫째로, ESS 등으로의 재사용에 대한 기준을 설정하기 위한 배터리 자체의 잔존 수명에 대한 연구이며 둘째로, 배터리의 원 소재인 리튬, 코발트 등을 추출하는 재활용 공정

진입 전 수명 완료를 판명 하기위한 E.O.L의 적절성에 대한 연구가 대부분이다.

중고 전기차 유동적인 관점에서 중고 전기차의 배터리 평가에 대한 연구는 찾기 어렵다. 국내에서는 제주특별자치도의 CFI 2030 Project라는 이름으로 2030년까지 이산화탄소 배출량을 Net Zero화 하겠다는 제주특별자치도의 정책 Project의 일환으로 제주전기차서비스(주), (주)휴렘, 자동차평가연구소(주) 등의 데이터 기반의 중고 전기차 배터리 평가 데이터가 유일하다[10,11]. 아울러 국내에서는 LG에너지솔루션이 민테크(주) 등과 함께 중고 전기차 배터리 평가 업무를 시작하였고, 자동차 제조사인 기아자동차와 르노코리아의 전기자동차 사용 후 배터리 재사용을 위한 제어방법 및 평가 연구 등도 이러한 중고 전기차의 배터리와 관련된 데이터를 확보하기 위한 노력이다[12]. 아울러 배터리 수명을 늘리는 배터리 사용법에 대한 연구 결과가 다수 있으며[13], 한편 실제 배터리를 탈착하여 최대용량을 충전하고 방전하는 테스트는 15~20시간의 긴 시간이 소요되므로 짧은 충전시간과 방전을 통해 내부저항 등과 관련 파라미터를 분석 SOH 구득하는 다른 방안도 있었다.[14], 제주테크노파크에서도 자체 수거 보유중인 폐 배터리를 사용하여 보다 정확하고 신속한 배터리 잔존수명 평가 방법에 대한 연구를 진행하고 있다[15, 16]. 하지만 운행 중에 평가되고 즉시 그 결과를 토대로 가격을 정산하고 거래되어 다시 이용자만 바뀌어 운행해야 하는 장착되어 있는 중고차의 배터리평가에 대한 연구나 고찰은 부족하다고 할 수 있다.

1.3 연구 내용

본 조사 연구의 내용은 서론과 본론으로 유효한 중고전기차 배터리 평가 항목에 대한 조사 및 고찰과 조사 방법을 살펴보고 선택된 항목별 혹은 복합점수별 차량가격과의 상관 관계를 분석한 내용과 결론을 포함하여 총 4장으로 구성 되어 있다.

1장에서는 조사, 연구 배경과 목적을 기술하였고 아울러 선행 연구를 고찰 함으로서 본 연구가 가지는 의미 그리고 목적에 부합하는 연구인지를 선행 연구자들의 결과물을 통해 검토한다.

2장에서는 우선 내연기관 자동차의 평가 방법을 조사하였고 유의미한 중고 전기차의 평가 항목 범위를 찾아보는 내용과 현실에서 중고 전기차 배터리 평가

데이터를 구하는 방법에 대한 포함한다.

3장에서는 2장에서 제시된 항목을 바탕으로 이러한 모델이 시장에서 결과적으로 평가 되어질 중고 전기차 차량 가격과의 상관관계를 각 요소별로 분석해 보았다. 분석 중 상관관계 결과에 따라 수정, 보완하면서 각 데이터 구성 및 비중을 바꾸어 가며 평가 요소 별로 차량가격과의 상관관계를 분석하여 몇가지 유효한 내용 및 발견 사항을 기술하였다.

4장에서는 이러한 중고 전기차의 배터리 평가 결과와 관련 시스템의 평가 결과가 차량가격에 미치는 영향과의 상관관계 분석을 바탕으로 유효한 중고 전기차의 평가 항목과 함께 유의미한 중고 전기차 평가 모델을 제안해 보았다..

2. 중고전기차 배터리 성능평가 항목 및 평가 방법

2.1 중고 내연기관 자동차의 성능 점검 사례

전기차 배터리 평가에 앞서 내연기관 중고차량의 상황을 먼저 살펴보자면 대한민국에서 2,000만대 이상 판매되어 운행되어지는 내연 기관 차량의 경우 현재 매해 약 250만대 이상의 중고차가 거래되며 그림에서 보듯이 국내 중고차의 거래량은 계속 증가하고 있다.

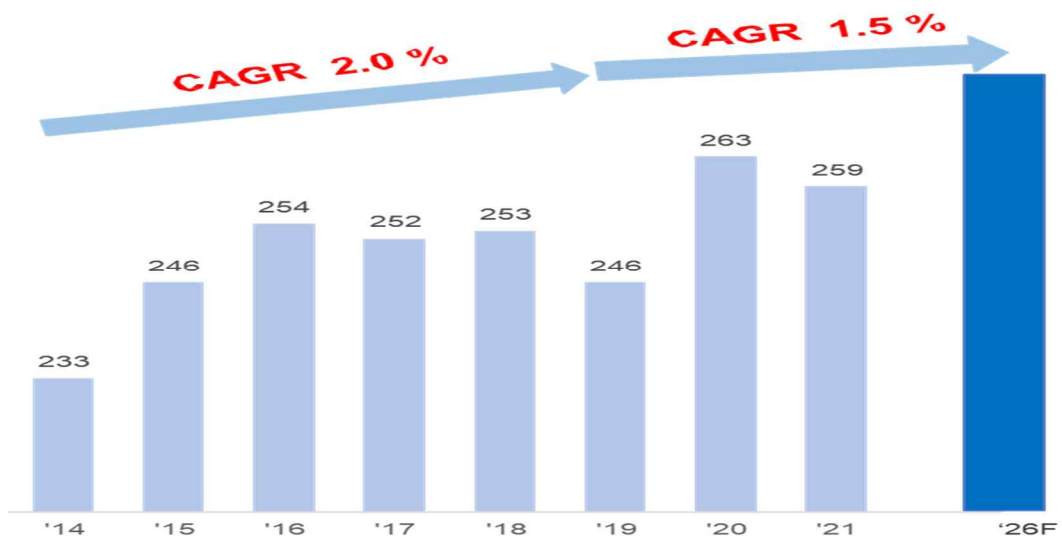


그림 1. 우리나라 연도별 중고차 판매 대수(단위 만대)



그림 2. 국가별 신차 판매량 대비 중고차 판매량(중고차판매량/신차판매량)

아울러 중고차 거래량은 신차 판매량의 1.4배 수준이 넘고 있으며 선진국의 경우 정립된 중고차량 평가 시스템을 반영한 공정한 시장가격 형성을 바탕으로 신차 판매량 대비 2배를 넘어 3배 가까운 중고 차량이 거래 되어지고 있다.

표 1 연도별 폐차주기 (2000년-2020년) (출처:자동차 공업협회 2021)

차종	2000년	2005년	2010년	2015년	2020년
승용	8.4	11.2	13.4	14.8	15.3
승 합	8.2	10.2	12.0	14.9	15.5
화물	8.0	10.9	8.0	15.1	16.8
특수	9.9	11.9	15.6	17.1	16.8
전체	8.3	11.1	13.3	14.9	15.6
평균보유년수					7.3

자동차 공업협회 2021 발표에 따르면 지난해 국내 신차 구매자 의 차량 보유 기간은 평균 **7.3년**이고 등록차량의 평균 차령이 7.2년에 달한다. 즉 2번이상의 중고차 거래가 이루어 져야 폐차까지 운행이 가능하다고 볼 수 있다.

이제 100년이 넘어가는 내연기관 자동차가 신차 판매 뿐만 아니라 수명을 다 해 폐차되는 순간까지 약 15년이 운행되고 있으며 이 기간 중 주인이 평균 2회 바뀌는 중고차 거래과정을 거치고 있음을 알 수 있다 이러한 중고차 거래는 최근 정부 및 대형 중고차 매매회사가 주도한 “중고 자동차 성능 점검기록부” 의 기능을 무시할 수는 없다. 이 법정 양식인 “중고자동차 성능점검 기록부” 는 중고자동차 매매업자(판매자)가 의무적으로 관련 공인 평가 기관을 통해서 지정된 평가 항목을 평가 후(성능점검 평가업자) 기록하여 구매자인 고객에게 반드시 고지하고 거래하도록 법제화 되어있다.실시 한지 10년이 넘는 현재 모든 중고차 시장에서 준수 되어 지면서 중고차 거래를 활성화 하고 양을 늘리는데 상당한 기여를 하고 있다고 판단 할 수 있다.[16] 아울러 이러한 성능점검 기록부가 차량을 광고하는 중고차 거래 매매 인터넷 플랫폼에 차량의 매물광고와 같이 고지 되어 있어 소비자가 중고차량을 품질에 기반하여 결정된 차량가격을 점검 하고 평가 후 구매하도록 환경이 조성되어 있다고 볼 수 있다.

표 2 중고자동차의 성능점검기록부 작성과 관련된 법규

법규	항목	세부 내용
법규	자동차관리법 제58조(자동차관리사업자의 고지 및 관리의 의무 등)	① 자동차매매업자가 자동차를 매도 또는 매매의 알선을 하는 경우에는 국토교통부령으로 정하는 바에 따라 매매 계약을 체결하기 전에 그 자동차의 매수인에게 서면(중고자동차 성능·상태 점검기록부)으로 고지하여야 한다.
시설	성능점검 시설 및 장비 기준	1. 펫트 또는 리프트 2. 자기 진단기(스캐너) 3. 도막측정기 4. 카레이지 작기 5. 청진기 6. 멀티테스터 7. 타이어 딥게이지 8. 배터리 전압측정기 9. 비중계 10. 가스누출감지기 11. 배기가스측정기 (매연측정기, 일산화탄소측정기, 탄화수소측정기) 12. 절연저항시험기, 절연장갑·절연화·절연매트·보안경 및 앞치마 등의 보호장구 (고전원전기장치 항목을 점검하려는 경우에 한한다.)

성능점검을 통하여 차량의 품질을 객관화 하여 중고차 거래를 활성화 하고자 한 목적을 이루고 있다고 판단되어진다. 단위 시설 기준과 성능점검 항목에는 전기차와 관련된 부분은 위 시설 및 장비기준 12항에 해당하는 내용으로 아직은 상당히 미비하다는 것을 확인 할 수 있다. 이러한 성능점검은 소비자를 보호한다는 취지하에 최근에는 성능점검의 오류를 책임지는 일종의 영업배상 책임보험 가입을 의무화 하여 소비자들의 피해를 줄이고자 하는 법령이 추가 실시되고 있기도 하다

표 3 내연기관 자동차용 성능점검기록부 서식 (원동기와 변속기 부분)

		주요장치 평가			
주요장치	항목 / 해당부품	주요장치 합계(D)			만원
자기진단	원동기	[]양호	[]불량		만원
	변속기	[]양호	[]불량		만원
원 동 기	작동상태(공회전)	[]양호	[]불량		만원
	오일누유	로커암 커버	[]없음	[]미세누유 []누유	만원
		실린더 헤드 가스켓	[]없음	[]미세누유 []누유	만원
		오일팬	[]없음	[]미세누유 []누유	만원
	오일유량	[]적정	[]부족		만원
	냉각수 누수	실린더 헤드 가스켓	[]없음	[]미세누수 []누수	만원
		워터펌프	[]없음	[]미세누수 []누수	만원
		라디에이터	[]없음	[]미세누수 []누수	만원
		냉각수 수량	[]적정	[]부족	
	고압펌프(카먼레일) - 다셀렌진	[]양호	[]불량		만원
변 속 기	자동 변속기 (A/T)	오일누유	[]양호	[]불량	만원
		오일 유량 및 상태	[]적정	[]부족 []과다	만원
		작동상태(공회전)	[]양호	[]불량	만원
	수동 변속기 (M/T)	오일누유	[]없음	[]미세누유 []누유	만원
		기어변속 장치	[]양호	[]불량	만원
		오일유량 및 상태	[]적정	[]부족 []과다	만원
작동상태(공회전)	[]양호	[]불량	만원		
동력전달	클러치 어셈블리	[]양호	[]불량	만원	
	동축조인트	[]양호	[]불량	만원	
	추진축 및 베어링	[]양호	[]불량	만원	
	다퍼런셜기어	[]양호	[]불량	만원	
조 향	동력조향 작동 오일 누유	[]없음	[]미세누유 []누유	만원	
	작동상태	스티어링 펌프	[]양호	[]불량	만원
		스티어링 기어(MDPS포함)	[]양호	[]불량	만원
		스티어링조인트	[]양호	[]불량	만원
		파워고압호스	[]양호	[]불량	만원
		타이로드엔드 및 볼 조인트	[]양호	[]불량	만원
제 동	브레이크 마스터 실린더 오일 누유	[]없음	[]미세누유 []누유	만원	
	브레이크 오일 누유	[]없음	[]미세누유 []누유	만원	
	배력장치 상태	[]양호	[]불량	만원	
전 기	발전기 출력	[]양호	[]불량	만원	
	시동모터	[]양호	[]불량	만원	
	와이퍼 모터 기능	[]양호	[]불량	만원	
	실내 송풍 모터	[]양호	[]불량	만원	
	라디에이터 팬 모터	[]양호	[]불량	만원	
	윈도우 모터	[]양호	[]불량	만원	

항목	불 조인트	양호	불량	누유
제동	브레이크 마스터 실린더오일 누유	없음	미세누유	누유
	브레이크 오일 누유	없음	미세누유	누유
	배력장치 상태	양호	불량	
전기	발전기 출력	양호	불량	
	시동 모터	양호	불량	
	와이퍼 모터 기능	양호	불량	
	실내송풍 모터	양호	불량	
	라디에이터 팬 모터	양호	불량	
	윈도우 모터	양호	불량	
고전원 전기장치	충전구 절연 상태	양호	불량	
	구동축전지 격리 상태	양호	불량	
	고전원전기배선 상태(접속단자, 피복, 보호기구)	양호	불량	
연료	연료누출(LP가스포함)	없음	있음	

특기사항 및 점검자의 의견: 성능·상태점검자, FRP 보증 제외

「자동차관리법」 제58조 제1항 및 같은법 시행규칙 제120조에 따라 중고자동차의 성능·상태를 점검, 자동차가격조사·산정하였음을 확인합니다.

중고자동차 성능·상태 점검자 : (사)전국자동차성능평가협회 아래성능장 임주용 (인)
 중고자동차 성능·상태 고지자 : 주식회사 미스트림카 (인) 2023년 10월 16일

성능·상태 점검의 보증에 관한 사항 등

그림 3 중고차 거래 사이트 "엔카닷컴"의 전기차 성능점검 고지내용

그림3에 중고차 거래 사이트 "엔카닷컴"의 전기차 성능점검 고지내용과 가격

예시를 나타내었다. 참고할 내용은 전기차에 해당하는 항목은 “고 전원 전기장 치” 육안검사 항목 3개(충전 구 절연상태,구동축전지 격리상태,고전원케이블 배 선상태)뿐이다. 전체적으로는 이러한 성능점검 내용의 공유가 시장의 공정한 차 량가격 형성을 위한 제도적인 시스템으로 어느정도 작동 되고 있다고 판단 할 수 있다.

2.2 중고 내연기관 자동차와 전기 자동차의 항목 비교

내연기관 차량은 화석연료를 화학적 에너지에서 물리적 에너지로 변환하여 그 동력을 얻어 움직이는 기계 이고 전기자동차는 전기화학적 에너지를 전기 자기 적 에너지로 변환 후 이를 다시 모터의 구동을 통한 물리적 에너지로 변환 구동 한다고 볼 수 있다. 기능적으로는 내연기관의 화석연료는 전기차의 배터리에 해 당하고 내연기관의 엔진은 전기차의 구동 모터에 해당한다. 하지만 전기차는 구 동모터가 반영구적이고 고장이 적어 복합적으로 내연기관의 엔진과 변속기에 해 당하는 부분을 전기차의 배터리와 비슷한 비중으로 평가 하는 것이 일반적이다. 하지만 2.1절에서 살펴 본 바 대로 전기차량의 경우 내연기관 차량의 엔진에 버 금가는 역할 비중을 차지하는 전기차의 주 배터리와 관련된 평가 항목이 법적으 로 정해져 있지 않고 있다. 차량가격을 구성하는 부품 가격의 비중에서도 내연기 관의 엔진(원동기) 및 트랜스미션(변속기)에 해당하는 금액 만큼 전기차에서는 배터리 및 배터리 충/방전 시스템의 가격 비중이 크다고 확인 되고 있다

표 4 내연기관차량과 전기차량의 부품 수 및 가격비중 비교

차종	대응부품	부품 수/ 가격비중	대응부품	부품 수/ 가격비중	대응부품	부품 수/ 가격비중	총 부품 수
가솔린 자동차	엔진	2500 <u>20%</u>	변속기	2500 5%	연료탱크	30 3%	25,000~ 30,000
하이브리드	엔진+모터	2600 25%	변속기+ 제어장치	2800 15%	연료탱크 +배터리	190 10%	26,000~ 32,000
전기차	모터	200 4%	제어장치	300 10%	배터리	300 <u>46%</u>	18,000

< 2023.10.12,전기차 배터리를 교환하는 경우, 교체 비용이 차량 가격의 46% 에 달한다는 지적이 나온다. 출처 : 데일리카 (<http://dailycar.co.kr>) >

2.3 중고전기차의 배터리 평가 항목 및 평가 방법

위와 같은 조사를 바탕으로 중고 전기차에서는 배터리의 상태 혹은 잔존 가치나 기대 품질의 평가가 차량 가격에 큰 비중을 차지 하는 것으로 확인 되었다. 전기 중고차 에서의 배터리 평가 기준과 방식에 대하여는 대부분 재사용과 재활용을 위하여 탈착 된 상태에서의 배터리의 잔존 수명 조사를 통한 재사용 가능 여부의 판단하는 하는 기술과 기준이 대부분이었다. 아울러 현재 어느정도 잔존 수명 혹은 기대 수명이 되는 지 파악하고 현재의 배터리 상태를 만들어 내는 원인 행위들에 대한 연구 즉, 전기차 배터리 사용 환경, 운행/충전 패턴 및 대기 온도와 관련된 조사가 대부분 이다. 하지만 모든 문헌에서 공통적으로 배터리의 평가는 충/방전이 정상적으로 이루어 지고 있다는 가정하에 잔존 수명을 나타내는 SOH값을 통한 잔존 가치를 주로 활용하고 있으며 이러한 SOH는 선행 조사에서 밝혀진 대로 전기차 배터리의 EOL(End of Life)인 80%이상인 경우 운행하는데 문제가 없다고 판단 되어지고 있고 이는 평균 운행 DoD 값에 다르지만 충 방전 횟수 약 1천~5천회에 해당하는 수준이다.

배터리를 20%=>80% 으로 충 방전 사용시 약 3천회이상 사용시 E.O.L도달 한다는 선행 연구 결과를 바탕으로 일주일에 DOD 60%씩 2회 충전해도 1년이면 100회내외 10년 동안 사용하여야 1천회 충 방전 하며 1천회 충전으로는 일반적으로 E.O.L 에 도달 하지 않는다는 선행연구를 참조하며 조사하였다.

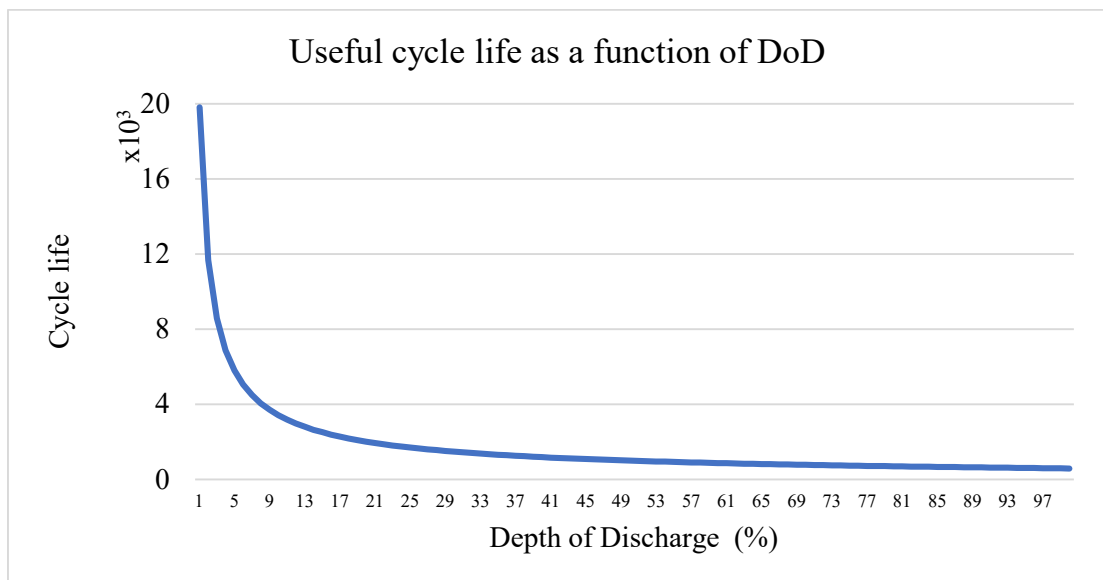


그림 4 방전심도와 총방전한계횟수와의 관계



그림 5 코나 전기차 배터리 탈착 평가 모습 <민테크㈜ 전자신문 2022>

즉, 내연기관의 경우 연료만 계속 주입이 되면 엔진이 반영구적이라고 가정 하는 기본 논리와는 상당한 차이가 있음을 알 수가 있다.

그리고 충전 방식이 전기차 배터리의 수명에 미치는 영향을 분석한 선행 연구들은 찾을 수 있었지만 [17] 현재 운행 중에 있고 앞으로도 당분간은 운행될 중고 전기차의 배터리 평가는 주로 제조사에서 O.B.D단자를 통하여 On-line으로 연결되어 휴대폰 Application이나 전문 Scanner를 통해서 SOC SOH SOB SOP 등의 값과 배터리 각 Cell의 전압, Cell간 전압차이 혹은 Dead Cell의 존재 여부를 B.M.S를 통한 IT 데이터의 Out Put의 형태로 받아 확인 할 수 있다.

하지만 중고 전기차의 경우 대부분 상당 기간 운행이 이루어진 차량이고 눈에 띄는 고장이 있는 경우 수리를 하고 운행하거나 거래를 하는 것이 일반적이므로 내연기관자동차의 엔진과 트랜스미션의 성능점검 데이터를 공유 하듯이 중고 전기차의 경우 현재의 충전상태(내연기관의 연료 탱크 잔량)를 표시한 데이터 보다는 배터리의 사용정도 및 노후 잔존 수명을 나타내는 간접 지표인 SOH를 가장 유의미한 배터리 잔존 가치 평가 데이터로 정할 수 있다[18].



그림 6 휴대폰 앱을 통한 중고 전기차 배터리 상태 확인 [2022.6.22 조선일보]

이러한 전기차 배터리 상태 확인 Application은 기본적으로 현재의 충전 량을 나타내는 SOC값과 잔존 수명을 나타내는 SOH값 혹은 SOH값을 기본으로 하는 다양한 상태 지표를 배터리 제조사 혹은 자동차 제조사의 기준과 Logic으로 전기차 이용차에게 제공하고 있지만 정확하게 모두가 인정하고 합의된 표준에 따라 제공되어지는 공식 Data는 아니다.

향후에는 이렇게 온라인 혹은 모바일을 통하여 전기자동차에서 핸드폰이나 자체 기기를 통하여 SOH값과 SOH값을 기본으로 하는 다양한 배터리 상태 데이터를 구하고 중고전기차 거래시에도 공인 인증기관을 통하여 배터리 상태를 인증 받고 거래 할 수 있도록 해야 하지만 아직은 그렇지 못한 것이 현실이다.

하지만 이러한 모바일 IT 기술을 활용한 SOH값이나 SOC값 등의 실시간 확인은 향후 더 많이 이용될 것이고 관련 평가 방법과 기술이 검증/인증되어 데이터를 활용한다면 다양한 분석결과를 통하여 보다 정확한 배터리의 평가가 이루어질 것으로 판단한다.

2.4 중고전기차의 배터리 평가항목에서 SOH의 적절성과 SOH이외 항목

표 5. SOH 측정 방법과 장단점

	측정법	측정 방법/절차	장 점	단 점
1	전기화학적	신품 100% 상태 PH값 과 비교	화학적 정확 성	원Data필요 재사용 불가능 Sample만 가능
2	배터리 내부저 항 임피던스 비교	신품배터리 내부 저 항과 열화 된 배터리 내부 저항값 비교	열화 정도를 정확히 파악 가능 하다	원 신품 배터리 내 부저항등 초기 정 보 필요
3	실제 충/방전	실제 Full충전후 20 시간 방전량비교	전기적 정확 성	원Data필요관련 방전 량 test장치 필요/장기간소요
4	단기간 방전 Simulation	단기간 10~20분 방 전 그래프를 Simulation	비교적 짧은 시간에 측정	원 Data Curve 대 비역산/오차가 큼
5	IT Algorithm 적용방식	기적용된 Algorithm 기반 전기차 OBD단 자를 통한 실시간 BMS에서 송출되는 SOH 값 구득	On-Line혹 은 실시간 SOH값 구 득	Original 상태값 대 비 Algorithm을 검 증 위해 실제 방전 과 비교를 통한 검 증필요

$$\text{방법 1 } \text{SOH} = \frac{\text{Rem ained Batery chem ical ph}}{\text{Original batery chem ical ph}} \times 100[\%]$$

$$\text{방법 2 } \text{SOH} = \frac{R_{eol} - R_{now}}{R_{eol} - R_{new}}, \text{SOH} = \frac{R_{DC}(eol) - R_{DC}}{R_{DC}(eol) - R_{DC}(ent)} \cdot R_{DC} \text{ 수명 종료 저항이고 } R_{DC}(ent) \text{ 는 신품}$$

$$\text{방법 3 } \text{SOH} = \frac{Q_{act}}{Q_{nom}} = \frac{\int_{t_1}^{t_2} Q dt}{Q_{nom}(SOC1 - SOC2)}$$

$$\text{방법 4 } \text{ 위 방법 3의 Simulation 활용 } \frac{SR \int_{t_1}^{t_2} id t}{SR \int_{t_0}^{t_{eol}} id t} * S.Factor = \frac{test curve P\&L}{total curve P\&L} * SF$$

이는 중고 전기차량의 경우 배터리만 탈착하여 테스트 하는 것은 비용과 시간 그리고 관련 법규/안전 측면에서도 비현실적 이므로 O.B.D단자를 통한 On-Line 으로 프로그램 된 Scanner 등으로 B.M.S Output을 통한 데이터로 비교 분석하는 것이 가장 현실적으로 구현 가능한 방법으로 보고 그 방법을 채택 하기로 한다. 하지만 배터리 제조사 혹은 자동차 제조사에서 2중 혹은 3중으로 Safety Margin을 두고 B.M.S데이터를 나름의 Algorithm을 통해서 IT적인 계산을 통해서 출력하는 SOH값을 검증 하기 위해서는 위 [표4]에서 제시한 방식대로 물리화학적 방식(방식 1) 과 최초 신폼데이터 입력 후 수년이 지난 상태에서 동일 전기차량의 배터리의 완충 후 완전 방전 등의 충 방전(방식 3) Full테스트를 통한 데이터 값의 비교를 통한 검증이 뒤따라야 보다 정확한 SOH값의 검증임을 인정하고 이는 안전측면과 기술적 현실적으로 향후 연구 조사로 남겨둔다. 아울러 위 방법 1~3의 방식은 중고차 거래 시장 환경의 한계를 인정해야 한다. 배터리의 잔존 수명 값인 SOH값 이외에도 배터리 충전과 방전 시 관련 IT 시스템의 정상 작동 여부를 나타내는 BMS Error log 기록을 토대로 하는 값 그리고 ECU에서의 Motor control unit Error 발생 Log data 등과 같은 구동모터 컨트롤 unit에서의 error 발생 log도 전기차 평가에는 필요 하지만 배터리 평가 항목과는 다소 다른 전기차의 평가 항목이라고 할 수 있다.

2.5 대상차량의 선정 및 Data Collection과정

앞에서 살펴본 바 대로 중고 전기차 배터리의 성능 평가를 위해서는 대상 차량을 선정하고 모델이나 배터리 제조사/배터리 용량/ 배터리 운행 조건 등을 선 조사 후 실험계획에 의거하여 준비 한다.

배터리에서의 SOH값을 구득하는 현장에서 실현 가능한 방법 등을 차례로 조사 하여 나갔다. 되도록 많은 데이터를 위해서 대한 민국에서 많이 팔린 전기차 중에서 비교적 오랜 기간 운행이 된(적어도 5년 이상 운행된) 전기차의 데이터를 구득하여 Sample로 활용하는 것이 적당 하다 할 수 있다. 하지만 실제 현재 운행하고 있거나 전국에 산재하여 있는 전기 중고차에 서 OBD단자를 연결하여 SOH값과 관련 Data를 취득하는 것은 제조사의 적극적인 협조를 받거나 검사 기관이 아닌 상태에서는 Data를 구득하기 어렵고 관련 기준도 없었다.

다만 관련 자료 검색 중 제주도에서 동일 모델의 전기차를 렌터카로 운행하던 중 파산하여 운영을 중단 해당차량의 구입자금을 대출한 관련 금융기관이 법원

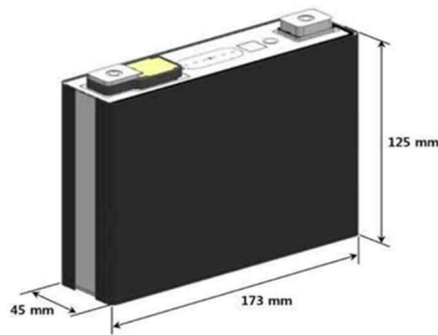


그림 7 제주도 산간에 방치 중인 BMW전기차 i3모델 200대 사진

경매를 통하여 매각하고자 일정 장소에 차량을 모아두고 주차하여 보관중인 사실을 확인 하고 관련 성능점검 가능 업체와 협력하여 관련 데이터를 확보 하기로 하였다.

표 6 BMW i3 sol+ 모델에 설치된 삼성SDI 배터리의 개요

Introduction of 94Ah cell



Specification		
Nominal Capacity	min. 94 Ah ave. 95.6 Ah	
Nominal Voltage	3.68 V	
Energy (ave.)	350 kWh	
Voltage (max. charge)	4.15 V	
Discharge power (ave.)	5s at 25 °C, SOC 90%	1546 W
	30s at 25 °C, SOC 90%	1102 W
	30s at 25 °C, SOC 20%	966 W
	30s at -25 °C, SOC20%	155 W
Dimension (L x W x H, mm)	173 x 125 x 45	
Weight	max. 2.06 kg ave. 2.01 kg	

대상차량은 BMW 사에서 제조 판매한 전기차 i3 모델 이었으며 배터리를 제조 납품한 삼성SDI 제품설명서에는 i3전기차에 들어가는 리튬이온 배터리의 경우 상온에서(평균기온 영상0℃) 4,600 회를 충전과 방전을 하면 SOH 80%에 이르는 자료와 SOH값 90%에 이르기까지 약 1,500회의 총 방전 cycle을 보여주는 실험 데이터를 함께 공개 하기도 하였다.

3. 중고전기차 배터리 성능평가와 차량가격과의 상관관계 분석

3.1 데이터의 수집

배터리 E.O.L이 시장에서 80%내외로 인식되어 지는 점은 곧 실제 SOH값의 유효 사용 범위 Scale이 80%~100%이므로 20% 내외인 점을 고려[19]

SOH값이외에도 전기차의 경우 충전 시스템의 정상 작동여부가 소비자가 생각하는 중요한 품질 기준임이 확인 되어 관련 품질을 나타내는 데이터를 살펴 보았고 아울러 현재 법정 성능점검기록부에 전기차 해당 항목으로 이상이나 문제의 가능성은 낮지만 안전과 관련된 3가지 육안 검사 항목 등 시장과 현장의 의견을 감안하여 Data Collecting작업시 반영하여

첫째, 충 방전 시스템의 작동 오류 기록

둘째, 고압 케이블의 연결 및 절연 상태에 대한 육안 검사 결과와 추가로 구동 모터 컨트롤 오류 기록과 같이 조사하고 Data화 하여 Collecting 하기로 하였다

	
<p>(a) BMW i3 2016년식</p>	<p>(b) IT device로 확인되는 SOC(77) SOH(100) 값</p>
	
<p>(c) 차량에서 Scanner 활용 장면</p>	<p>(d) Scanner를 통한 Error Log 확인 화면</p>

그림 8 BMW i3차량에서 SOH값 및 충/방전 오류 Log 조사 화면

그림 8. 에서처럼 대상 차량을 OBD단자를 통한 Scanner로 관련 데이터를 조사한후 여러 번의 시행 착오 끝에 아래의 점수표를 작성하여 200대의 차량에

대한 SOH값을 포함한 전기차 배터리평가를 실시하였다. 실제 간이 충방전기를 사용하여 SOH를 구득 하는 또다른 시도가 있었지만 이 또한 현실적으로 추가적인 전월 공급 장치나 충 방전 시간이 소모되어 현장에서 사용하기 곤란하여 중간에 포기 하는 시행 착오를 겪기도 하였지만 유효한 SOH 및 기타 배터리 상태 파악과 비교를 위한 Data Colleting 시도였다고 판단한다. 위 표와 같이 SOH값을 조사한후 많은 비중의 점수를 배정하여 Scoring하였고 전술한 바 대로 단순 SOH값 이외에도 BMS(Battery Management System)에서의 고장코드 발생 횟수를 카운트 하여 배점화 하였고 OBC(On Board Charger)에서 발생하는 충전시스템에서의 고장코드 발생과 고전원 배선의 육안 외관검사 항목도 점수화 하여 기록했다.

표 7 조사한 중고 전기차 평가 표 예시

B attery condition					
B				점수	75 점
항 목	점수기준		실시간 값	배점	
배터리	SOH 상태	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 배터리 건강상태의 수치를 표시 65: 20점, 66~70: 25점, 71~75: 30점, 76~80: 35점 81~85: 40점, 86~90: 45점, 91~95: 50점, 96이상: 60점 	93.9	50	
	BMS (Battery Management System)	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 배터리 관리 제어시스템 진단 고장코드없음 (시스템오류없음) : 25점 고장코드1개발생 (시스템초기화) : 15점 고장코드2개이상발생 (시스템오류, 점검요함) : 5점 	고장코드1개발생	15	
	OBC(On Board Charger)	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 배터리 충전시스템 진단 고장코드없음 (오류없음, 외관종음) : 15점 고장코드1개발생 (시스템초기화) : 10점 고장코드2개이상발생 (시스템오류, 점검요함) : 5점 	고장코드1개발생	10	
				75	
전기차 케이블, 절연 외관/스캐너 자기진단					
고전원 전기 장치 및 자기진단	충전구 절연 상태	<ul style="list-style-type: none"> 상태종음 (외관종음) : 5점 상태이상 (외관이상, 외관손상) : 1점 	상태종음	5	
	구동축전지 격리 상태	<ul style="list-style-type: none"> 상태종음 (외관종음) : 5점, 상태이상 (외관이상, 외관손상) : 1점 	상태종음	5	
	고전원전기배선 상태 (접속단자, 피복, 보호기구)	<ul style="list-style-type: none"> 상태종음 (외관종음) : 5점, 상태이상 (외관이상, 외관손상) : 1점 	상태종음	5	
	MCU(Motor Control Unit)	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 모터 제어시스템을 진단 고장코드없음 (오류없음, 외관종음) : 5점 고장코드발생 (시스템오류, 외관이상) : 1점 	고장코드발생	1	
	CCM (Charge Control Moudle)	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 충전 제어시스템을 진단 고장코드없음 (오류없음, 외관종음) : 5점 고장코드발생 (시스템오류, 외관이상) : 1점 	고장코드발생	1	
				72	

이는 기존의 성능점검기록부의 항목 중에 전기차와 관련된 항목인 충전 구 절 연, 구동축전기 격리, 고전압케이블의 배선 상태 등 안전과 관련 되어있지만 육안 검사가 가능한 항목이므로 낮은 비중으로 점수화 하였으며
 마지막으로 구동 모터와 관련된 Scanner 에서 얻을 수 있는 고장코드 Log 기록도 낮은 비중으로 점수화 하여 같이 추가 조사 하였다.

200대의 차량에 대한 상관분석을 위한 Total Data Set를 만든 후, 상관관계의 검증의 유효성을 높이기 위하여 아래 200대의 BMW i3 차량 중 다시 가격이 비싸서 가격 민감도가 큰 Sol+등급의 차량만으로 구분하였고, 배터리의 사용과 별도로 시간에 따른 Aging의 변수를 제거하려고 제작 년도가 같은 2016년식 만으로 또 구분한후 대상 차량 중에서 이상치인 사고차량(가격 감가가 커서 제외) 및 IT적으로 SOH값 및 관련 Error Log값을 판독 불가능한 차량을 제외한 55대의 최종 Data Sample을 통하여 상관 관계를 분석 하였다. 이러한 작업은 통계 분석을 위한 data cleaning작업의 일종이라고 생각 할 수 있고 향후 다양한 차종의 다량의 전기차의 데이터를 동일 조건만을 구분하여 분석하면 더욱 의미 있는 연구 조사가 될 것이다.

표 8 BMW i3/ 2016년식 200대 제주도 [제공: 제주도 자동차평가연구소(주)]

NO.	차량번호	모델명	연식	주행거리	등급	평점	A Score	B Score	C Score	SOH값	기준시세	가감율	차량가격	수리필요 예상비용
3	47더4243	Sol+	2016	36,880 km	B	70	70	65	77	87	19,000,000	-41%	11,210,000	4,700,000
4	63주3040	Sol+	2016	24,585 km	B	76	76	70	77	91	19,900,000	-31%	13,731,000	2,700,000
5	52오9439	Sol+	2016	28,073 km	B	70	70	65	77	86.8	19,900,000	-41%	11,741,000	4,300,000
8	52오7940	Sol+	2016	63,324 km	B	66	70	60	67	85	19,000,000	-41%	11,210,000	5,100,000
9	47더2909	Sol+	2016	43,438 km	B	69	70	65	72	87	19,000,000	-41%	11,210,000	3,100,000
10	63주3196	Sol+	2016	52,692 km	B	67	70	60	72	85	19,000,000	-41%	11,210,000	3,900,000
12	47더3499	Sol+	2016	49,220 km	B	69	70	65	72	89	19,000,000	-41%	11,210,000	5,000,000
18	63주3416	Sol+	2016	66,518 km	B	68	70	65	67	85.3	19,000,000	-41%	11,210,000	5,500,000
20	47더4801	Sol+	2016	39,913 km	B	70	70	65	77	87.7	19,000,000	-41%	11,210,000	5,100,000
22	61소5749	Sol+	2016	52,124 km	B	69	70	65	72	87.1	19,000,000	-41%	11,210,000	4,000,000
29	61소3684	Sol+	2016	22,706 km	B	71	70	70	77	91.4	19,900,000	-31%	13,731,000	4,000,000
46	47더1945	Sol+	2016	34,096 km	B	76	80	70	77	91.7	19,000,000	-31%	13,110,000	2,700,000
47	63주3363	Sol+	2016	29,982 km	B	76	80	70	77	90.7	19,900,000	-31%	13,731,000	3,200,000
53	47더4651	Sol+	2016	43,554 km	B	69	70	65	72	89.9	19,000,000	-41%	11,210,000	4,700,000
61	47더2621	Sol+	2016	39,527 km	B	70	70	65	77	89.5	19,000,000	-41%	11,210,000	3,600,000
68	63주1494	Sol+	2016	41,493 km	B	75	80	70	72	90.2	19,000,000	-31%	13,110,000	3,600,000
71	47더2481	Sol+	2016	33,981 km	A	81	90	70	77	90.6	19,000,000	-21%	15,010,000	1,900,000
73	47더1282	Sol+	2016	58,421 km	B	74	80	65	72	87.5	19,000,000	-31%	13,110,000	2,700,000
74	63주1584	Sol+	2016	61,859 km	A	78	90	65	67	85.2	19,000,000	-31%	13,110,000	1,900,000
75	47더3322	Sol+	2016	58,334 km	A	79	90	65	72	87.5	19,000,000	-31%	13,110,000	2,300,000
79	63주3039	Sol+	2016	31,953 km	A	81	90	70	77	90.6	19,000,000	-21%	15,010,000	1,900,000
80	47더4334	Sol+	2016	36,858 km	A	82	90	75	72	89.6	19,000,000	-21%	15,010,000	1,900,000

3.2 기본 검증 : 차량의 주행거리와 SOH의 상관 관계 분석

주행거리가 많은 차량은 충 방전 횟수가 많고 배터리의 열화가 더 많이 진행되어 SOH값이 하락 한다는 기본 사실을 바탕으로 데이터의 기초 검증을 위하여 차량의 주행거리와 SOH값의 상관관계 분석을 먼저 실시 하여 보았더니 상관계수가 -0.502 의 음의 상관관계를 보여 주었다. 이로서 준비된 Data set과 추출 분리된 최종 Sample이 어느정도 유효한 데이터임을 확인 하였다. 주행거리가 길수록 SOH값이 낮은 수준을 보여주었다.

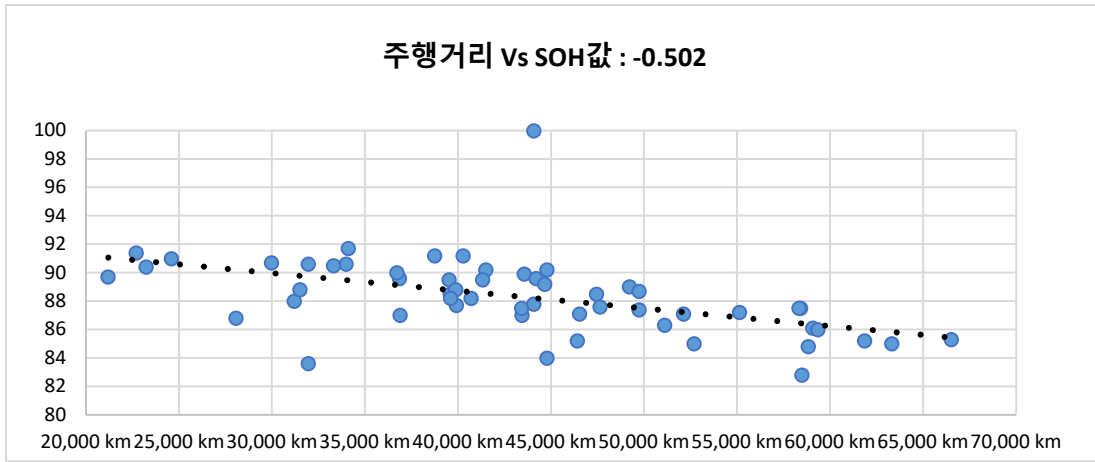


그림 9 주행거리와 SOH값의 상관계수

3.3 차량가격과 SOH값의 상관관계 분석

다음으로 배터리 상태의 대표 값인 SOH와 차량가격과의 상관 관계를 분석 하여 보았다. 상관관계 결과값은 0.408 으로 의미 있는 수준의 양의 상관관계를 보여 주었다. 하지만 중고전기차의 차량가격을 SOH값 하나 만으로 판단하기에는 부족해 보이는 상관관계라고 할 수 있다.

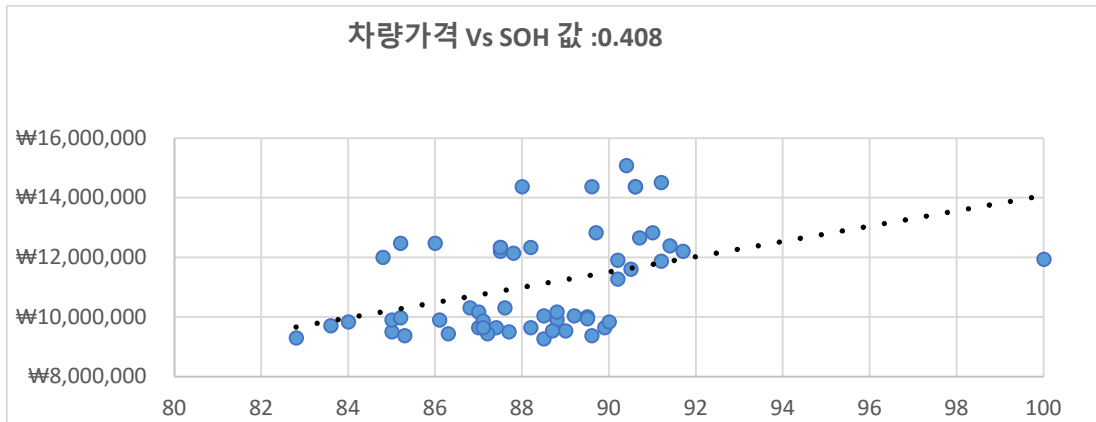


그림 10 SOH값과 차량가격의 상관 계수

3.4 차량 가격과 BMS/OBC 충전 오류 코드 발생 점수와 상관관계

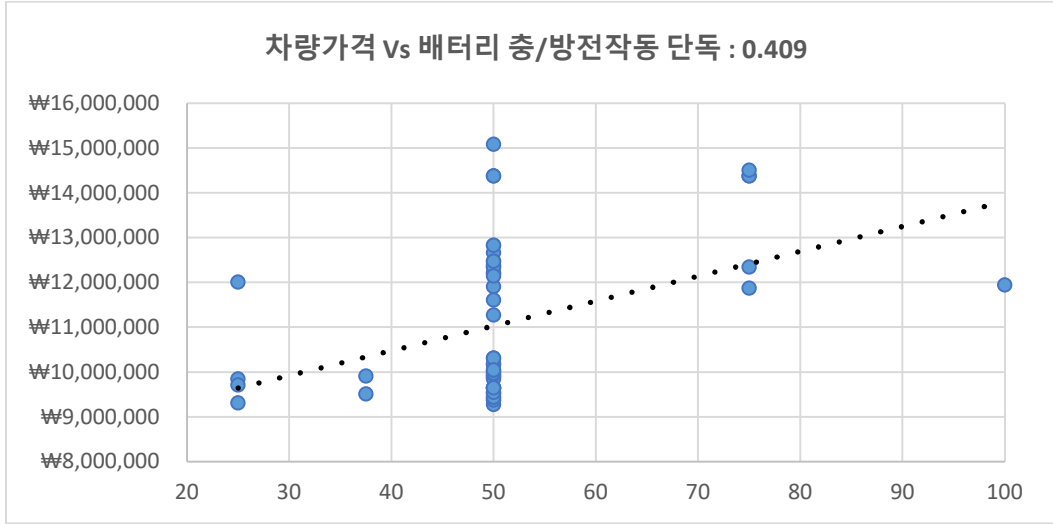


그림 11 차량가격과 배터리 및 충/방전 오류 코드 지표와 의 상관관계수

앞에서 살펴 보았듯이 SOH값과 차량가격과의 상관관계는 유의미한 수준으로 상관관계가 있지만 가격 비중의 40%를 차지하는 배터리 잔존가치를 나타내는 SOH값만과 차량가격의 상관 계수가 그리 크지 않다고 판단하고 배터리의 SOH 값은 크게 차이가 없으니(80%~100%) SOH이외 항목 중 배터리 관련 충/방전 시스템의 정상 작동 여부 Data가 제공 되어 가격 평가에 영향을 미친다면 그것을 점수화 하여 분석 할 필요가 있다고 보았다. 배터리 및 충/방전 시스템 정상 작동 성 지표 (오류 코드 발생 건수) 와 차량가격과의 상관관계 분석을 하였고 상관관계수가 0.409으로 크지는 않지만 상당히 의미 있는 상관 관계가 있다고 나왔다.

Scanner 검사 항목에 BMS산출값으로 충전/방전 중 Error 의 발생 횟수가 기록된 Log기록을 역산하여 Error발생없는 배터리 시스템을 100점으로 환산 분석하였다. 상관 계수가 0.409으로 상당히 유의한 양의 상관관계가 있었다.

이결과는 중고 전기차의 경우 SOH값이 큰 차이가 없을 경우 전기차 충전 시 발생하는 각종 오류(충전방식,날씨,충전기 형식, 충전기 제조사, 충전 결재 방식, 충전 시간 , 차량의 상태 등등) 로 인하여 배터리 자체 보다는 충전이 정상적으로 이루어지는 지에 대한 시장의 큰 관심이 반영 된 것이라 볼 수 있다.

3.5 차량가격과 SOH와 충 방전 정상 작동성 복합 (복합 B Score) 상관관계

각 각의 단일 요소를 통한 상관관계가 그리 높지 않다고 판단하여 위 3.3항의 SOH값과 3.4항을 복합하여 만든 배터리 평가 지표인 “B” Score를 만들어 추가로 상관분석을 실시하여 보았더니 상관 계수가 0.577으로 상당한 상관계수를 나타냈다. 즉, 배터리의 잔존가치 대푯값인 SOH와 배터리의 충 방전 시스템의 정상 작동 여부가 모두 차량가격에 유효한 영향을 주고 있다고 판단 되었다.

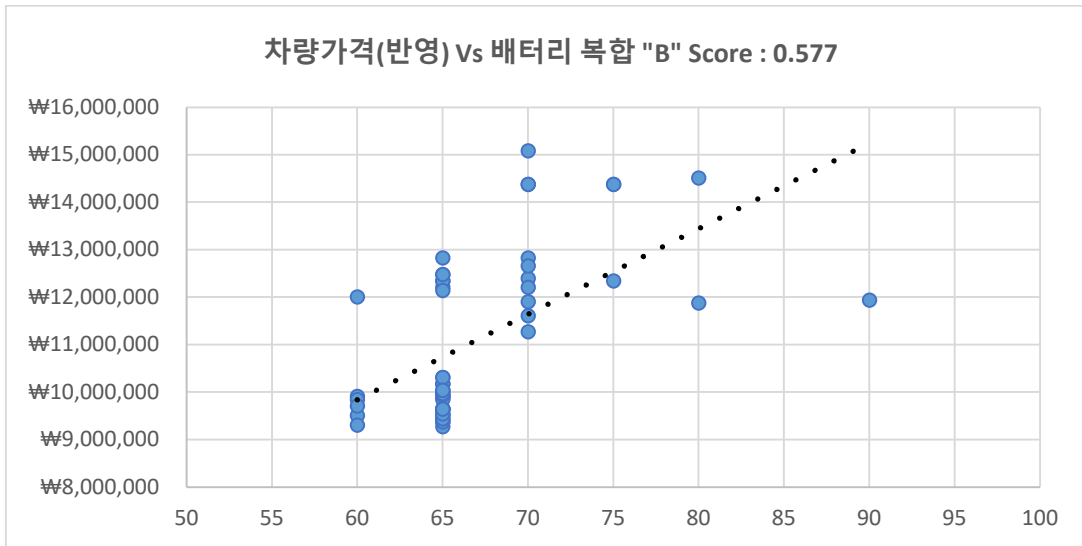


그림 12 차량가격과 SOH와 충방전시스템 정상작동 복합 상관계수

3.6 차량가격과 기존 성능점검 항목 과의 상관관계

추가적으로 배터리 고압케이블의 육안검사 결과와 간단한 절연테스트 평가 항목을 추가로 분리 차량가격과의 상관 관계를 분석하여 보니 0.216으로 다소 낮은 상관관계를 나타냈다.

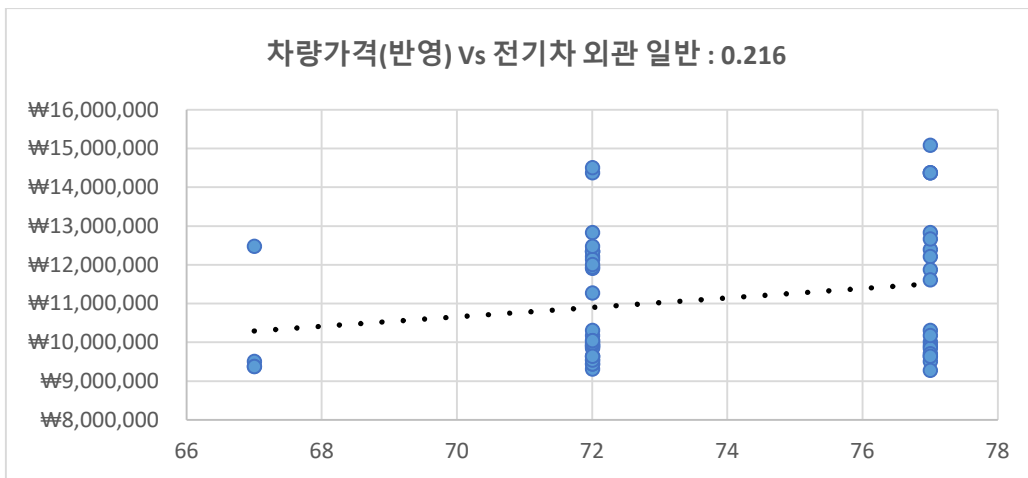


그림 13 차량가격과 기존 성능점검 항목 (육안 검사) 상관계수

3.7 차량가격과 배터리 복합 점수 표에 따른 상관관계

결과들을 종합 복합하여 다음과 같이 Data set을 만들고 최종적으로 SOH값과 배터리 /충방전시스템 정상 작동 성/전기차 기존 성능점검 항목 포함 고압케이블 육안검사 및 절연상태 값을 각 3:1:1의 비율과 0.75과 0.15와 0.10를 각각 배정 비율화 하여 최종 상관관계 분석을 해 보았다.

표 9 SOH / 배터리 및 충방전 시스템 정상작동성 / 기존 성능점검 항목 중심 육안검사 점수 복합 점수 표

복합	SOH값	충/방전시스템 정상 작동성 (error없을시100점)	모터에러 및 고압케이블 육안 검사	상관 분석 결과
원 값	1	1	1	0.412
복합 1	3	1	1	0.503
복합 2	0.75	0.15	0.10	0.586

차량 가격에 영향을 주는 요소를 먼저 검증 후 각 요소별 비중을 조절하여 다양한 경우별로 상관관계 분석을 하고 그 결과를 정리 하였다

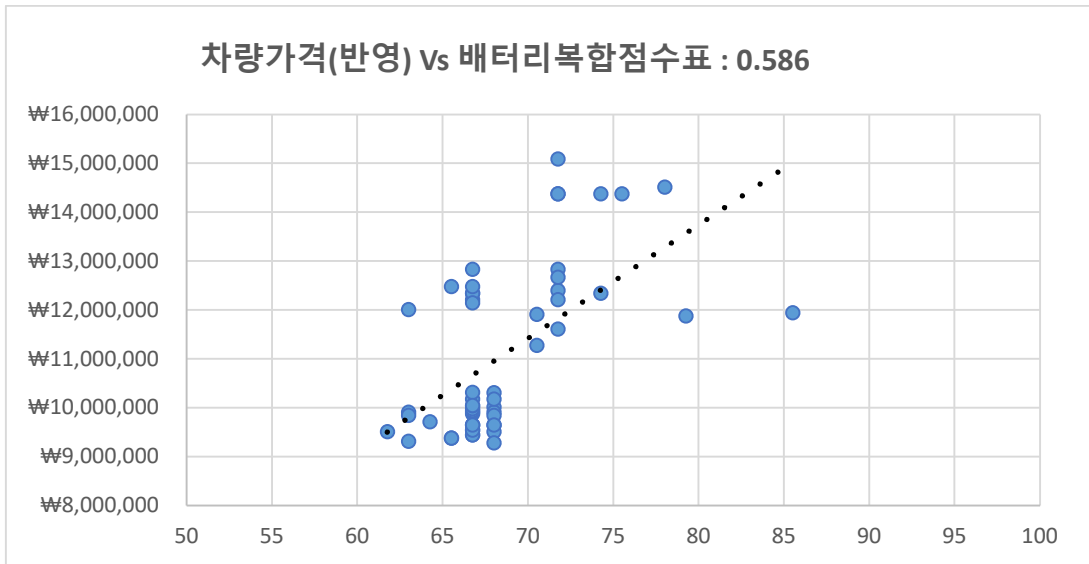


그림 14 차량가격과 1)SOH 2)배터리 및 충방전 시스템 정상작동성 3)기존 성능점검 항목/육안검사 점수 1)+2)+3)복합 점수 표에 따른 상관관계

위 SOH값과 배터리 및 충방전시스템 정상 작동성(BMS Error Log Data) 그리고 고압케이블 연결 및 절연성 육안 검사 데이터는 위 3:1:1 비율 이외 에도 여러가지 비율로 조합해 상관관계를 분석해 보았으나 0.75:0.15:0.10의 비율로 분석한 0.586의 상관 관계가 가장 높게 나타났다.

3.8 중고 전기차 차량 가격의 조사

위 차량은 경매에 출품하여 판매 처리 되었다. 경매 낙찰가를 기준으로 차량 가격 Data를 분석 하는 것은 위 차량의 배터리 평가 및 전기차 품질 변수 이외에도 시장의 수급과 시세의 변동 그리고 동종 차량 일시 처리시 좋은 차량만 먼저 판매 되고 저 품질 차량의 경우 잔존가치나 품질의 반영가보다 더 낮은 저가에 거래 되는 중고차 시장 가격의 특성을 고려 하여

소매 시세는 국내 최대 최고의 “엔카 닷컴” 소매 시세를 기준으로 차량의 1) 사고여부 2) 주행거리 3) 내부 필요 정비 필요 금액 및 외부 판금 도색비용 차이 5) 색상이나 기타 요인 등 순으로 가격에 영향을 미치는 점 [20] 을 고려하여 자동차평가연구소(주) 가 엔카 닷컴의 소매 시세와 케이카(주)의 도매가 견적금액을 기준으로 산정하여 중고전기차 차량가격의 객관성을 보완 하였다.

3.9 중고전기차 배터리 평가와 차량가격 상관관계 분석 시사점

앞에서 실시한 조사를 아래 테이블과 같이 살펴 보았다.

표 10 각 요소별/복합 요소별 중고전기차 차량가격과의 상관계수

	변수 1	변수 2	상관계수	비고
1	SOH	차량가격	0.408	
2	충방전 오류	차량가격	0.409	*1
3	위 1+2복합	차량가격	0.577	*2
4	고압케이블/절연	차량가격	0.216	*3
5	1+2+4(0.75:0.15:0.10)	차량가격	0.586	

이러한 상관 관계 분석을 통하여 시장에서는 전기차의 경우 배터리의 잔존가치를 나타내는 지표인 SOH값을 많이 반영 하지만 EOL값이 80%인 SOH값을 단독으로 반영하면 Scale 20% 이므로 변별력이 부족 할 수 있다고 보고

배터리 품질의 한 종류인 충/방전 시스템의 Error Log 횟수를 반영한 배터리 충/방전 시스템 정상 작동 여부*1, 그리고 가장 기본이지만 품질이상의 확률은 적은 현재 적용중인 고압케이블 결합 상태와 절연 상태 등을 성능점검기록부 항목 중 전기차 해당 항목*3 을 추가로 구동모터의 오류 발생 이나 동시에 복합 병합 반영 하는 것이 차량가격과의 상관관계도 높고 유효하다는 결과가 도출 되었다

4. 결과 고찰 및 제안

4.1 결과 고찰

이산화탄소 배출량을 줄이는 노력을 통한 지구온난화 방지는 필수 이고[21], 이러한 노력의 일환으로 전세계적으로 큰 트렌드를 만들어 가고 있는 전기차 운행 량의 증가는 분명 이산화탄소 발생량 감소에 기여 할 것이라고 판단 된다. 본 조사 연구에서 살펴본 대로 중고전기차의 거래가 활발해져야 전체 전기차의 운행 량과 기간이 늘어나고 이산화탄소 배출량이 감소 할 것이다. 이렇게 중고 전기차의 거래량 증가를 위해서는 유효하고 합리적인 중고전기차 배터리 성능평가가 뒷받침 되어져야 하고 이러한 중고 전기차 배터리의 성능평가는 고찰한대로 SOH값이 가장 중요하지만 현재 중고 전기차 평가항목에 반영되어지지 않고 있으며 IT기술을 적용 App.을 통해 일부 고객에게 제공되는 BMS산출값의 경우도 그 원리와 산출기준을 각 제조사들은 공개 하지 않고 있다.[22]

단순히 SOH값만으로 평가하기 보다는 IT적인 충방전시스템 그리고 기본적인 고압 케이블류의 정상 체결 결함을 확인 하거나 기초적인 절연 상태를 확인하는 것과 추가적으로 구동모터의 작동성과 복합적으로 이루어져야 전체적인 중고 전기차의 배터리 및 시스템의 상태를 평가하는 것이라고 할 수 있음을 알 수 있었다.

단 모든 중고전기차에 일반화 시키기에는 금번 BMW i3 모델의 일정 지역(제주도) 판매 운행 차량이라는 한계가 있음은 분명히 밝히며 이후에 더 많은 모델과 더 많은 조건의 다양한 전기차로 확대 실험 되고 검증 되어야 할 것이다.

아울러 중요한 지표로 활용중인 SOH값이 본 조사에서는 제조사에서 나름의 Algorithm으로 계산된 BMS Output값을 활용하였지만 향후 실제 배터리를 Sampling하여 분리 탈착 BMS값과 미리 살펴본 SOH구득 방법 중 전기적 혹은 전기화학적 평가를 통하여 산출된 값과 비교 하며 검증 교정 Calibration하는 과정도 필요 하다 할 수 있다.

4.2 중고전기차 평가모델의 제안

중고 전기차의 배터리 성능평가는 1) SOH와 2)충전방전 시스템 정상 작동 여부 그리고 3) 고압케이블류의 육안 안전검사 추가로, 4) 구동모터의 정상작동 여부 등을 비중에 따라 차등 배점하여 복합 평가 하는 것을 제안 한다.

5. 결론

본 연구조사는 서론과 본론에서 기술한 바 대로 전기차량의 운행이 증가하고 있고 새 전기차량 뿐 아니라 중고전기차의 거래량도 늘어나야 차량운행으로 인한 이산화탄소 배출량을 줄여 지구 온난화를 늦추거나 줄일 수 있다는 전제하에 중고 전기차량의 거래를 활성화 하는데 중요한 요소인 중고전기차의 배터리 평가를 중심으로 한 중고전기차 평가를 고찰하여 보았다. 시장에서 유효한 평가 인지를 검증하기 위하여 배터리를 중심으로 한 중고 전기차의 평가결과와 차량 가격과의 상관 관계로 그 유효성을 살펴 보았다.

조사결과 중고 전기차의 경우 배터리의 SOH값이 차량가격에 가장 큰 영향을 미치는 단일 요소 이지만 단순히 배터리 뿐만 아니라 충전 시스템의 정상 작동 여부가 그 다음으로 차량 가격에 큰 영향을 미쳤으며 마지막으로는 확률은 매우 낮지만 고전원 케이블의 체결이나 절연 상태 등의 기본적인 육안 검사 항목도 이상 상태 혹은 외관 불량 확인을 위한 항목으로 영향을 미치는 것으로 나타났다.

이러한 중요 결과를 토대로 중고전기차의 평가는 배터리의 잔존 수명을 나타내는 대푯값인 SOH값과 충전 시스템의 안정적 운영을 나타내는 지표 그리고 안전과 관련된 케이블의 결합상태나 절연성 등의 현장에서 즉시 측정할 수 있는 지표를 찾아 중요도 순으로 정하고 배정하여 이를 측정하여 소비자에게 제공하여 중고전기차의 경우도 내연기관자동차처럼 기술적이고 객관적인 품질관련 정보를 바탕으로 정해지는 합리적인 시장 가격으로 중고전기차의 거래가 더욱 활성화되기를 바란다.

참고 문헌

[1] 교토의정서 , ” Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change” 1998

[2] 제28차 유엔 기후변화협약 당사국총회(COP28), '탈화석연료 전환'에 대한 합의, AP연합뉴스 2023.12.13

[3] 알렉산드로 본드라 등 유럽연합(EU)유럽의회 , 유로7 ” 배기가스 NoX등 배기가스 배출 기준 및 측정기준 합의” “ 전기차와 하이브리드차 배터리 내 구성 기준 합의” , 2023.12.20

[4] 한국자동차연구원, ” 전기차 중국 시장의 높은 성장으로 802만대의 판매 완성차 판매량 전체의 9.9%를 차지 ” 한국자동차연구원산업동향, Vol.112 , 2023.02

[5] 한국자동차공업협회, “전기차 충전 기 부족 급속충전기 1만3천기 완속충전기 5만9천기 급속충전기 1대당 전기차 전국평균 15.3대” :한국자동차공업협회 지 2022

[6] 배성수,한국경제” 중고 전기차는 복불복 기준이 없다” 2023.10.25 기사

[7] 류석일, 한국소비자원 “성능점검기록부 중고차 거래” , 조사보고서 11-05 ,pp25-26

[8] 정지우,최진영,이혜진,박아현,정석희,전남대학교 , “ 전기자동차에서 발생하는 폐배터리의 재활용 및 재사용” 대한환경공학회지 45권7호 pp 325-335 , 2023.7

[9] 당일영,김형진 외 제주테크노파크 연구진, “전기차 사용 후 배터리 잔존가

치 평가 방법 개선 시험 연구” , 대한전기학회 하계발표논문집, pp84-87, 2022

[10] 강성중, ㈜휴렘 ,전기차 배터리 재활용을 위한 배터리 성능 및 잔존수명 분석 시스템 개발 /전기차 배터리 상태정보 수집 및 모니터링 기술,수집된 데이터를 통한 전기차 잔존수명 분석 기술 , 중소벤처기업부 , 2018

[11] 국토교통부 , “제주도 카본프리 아일랜드 글로벌 탄소중립 선도모델 초석 다졌다” 보도자료 2022.05.01

[12] 김경진 외 르노 코리아 자동차, “전기자동차 사용 후 배터리 재사용을 위한 제어방법 및 평가 연구” , KSAE pp899-902, 2022

[13] 오서영,이정현,윤좌현 “이해하기 쉬운 2차 전지” 동화기술 pp233-237 , 2022

[14] 박성준, 송광석, 박성미 전남대학교 “ Study on the Parameters Estimation for SOC and SOH of the Battery” 한국산업융합학회 논문집 제23권 제5호 pp853-863 2020년

[15] 당일영,김형진 외 제주테크노파크 연구진, “전기차 사용 후 배터리 잔존가치 평가 방법 개선 시험 연구” , 대한전기학회 하계발표논문집, pp84-87, 2022
선행연구

[16] 양승무, 김동완, 김일환, “전기차 주행 데이터에 의한 경로별 배터리 상태 추정” , 배터리 와 주행 패턴에 따른 배터리 상태 연구 전력전자학회지, vol 24, no. 3, pp139-146, 2019

[17] 오서영,이정현,윤좌현 “이해하기 쉬운 2차 전지” 동화기술 pp232-233, 2022

[18] 안희옥 금오공과대학교 , “리튬이온 배터리의 건강도(SOH)추정을 위한

내부 가스센서 사용 기법” 금오공과대학교 대학원 논문 pp 8-10 2019

[19] 오서영,이정현,윤좌현 “이해하기 쉬운 2차 전지” 동화기술 pp235-237 , 2022

[19-1] SOH가 80% 이하가 되면 리튬이온 배터리의 용량감소 선형성을 보장하기 어렵고 열화가 빨라지기 때문에 예측이 어렵게 됩니다. Evpost 2020

[20] 정호상, ” 다중선형회귀분석을 이용한 중고차 가격 예측 연구:A사의 사례를 중심으로” 인하대학교 물류전문대학원 pp7-34 ,2021

[21] 박준홍 국립환경과학원 “이산화탄소 감소는 지구 온난화를 지연 방지하는가? 국내외 자동차 온실가스 규제동향” Auto journal 2020

[22] YTN뉴스 , ” 교통안전공단에도 BMS를 공개 하지 않는 전기차 4만5천여대가 넘는” 기사 2023.11.24