반도체디스플레이기술학회지 제21권 제4호(2022년 12월)
Journal of the Semiconductor & Display Technology, Vol. 21, No. 4. December 2022.

친환경자동차의 연구동향 분석을 통한 미래 발전방향 제안 (Part 2)

안규환[*]·고장혁[*†]
[*†]삼육대학교 대학원 융합과학과

Future Research Direction through Reviewing Recent Trends in Environment-friendly Vehicles Research (Part 2)

Ahn, Kyu Hwan[*] and Ko, Jang Hyok[*†]
[*†]Department of Convergence Science, Graduate School, Sahmyook University

ABSTRACT

In this paper, we analyze the current research technology trends through the literature reviews of technical outlines of electric vehicles and hydrogen fuel cell vehicles, domestic and overseas policy trends, etc. After analyzing the literature, we found out while the re-use and recycling of waste batteries and the in-wheel motor systems are essential areas for the development of electric vehicles and hydrogen fuel cell vehicles, the related research is not quite sufficient, so the direction for further research is proposed at the conclusion.

Key Words : Environment-friendly Vehicles, Waste Battery Recycles and Re-Uses, In-Wheel Motor Systems

1. 서 론

최근 전 세계적으로 화석연료 자원고갈 및 기후변화에 대한 이슈가 화두가 되었다. 기후변화에 대한 방안으로 국제사회는 2015년 파리 기후변화협약을 체결하면서 산업화 이전 수준 대비 지구 평균온도가 2℃ 이상 상승하지 않도록 온실가스 배출량을 단계적으로 감축하는 목표를 설정하고 국가별로 규약을 강화하고 있고 완성 자동차 업계를 필두로 배터리 또는 수소연료를 이용한 친환경자동차를 집중적으로 개발하고 있다.

4년간 친환경자동차 판매량은 연평균 21% 성장하여 2025년에는 3.6천만 대 규모로 성장을 전망(Joint with relevant ministries, 2021), 자동차 시장의 9%에 육박하고 2030년에는 세계 자동차 시장의 10~15%를 차지하고 총 1억 4천만 대 이상 판매를 전망하고 있다(Y. S. Son, 2021). 목표를 달성하기 위해 국내외 정부는 친환경자동차 보급을 위한 다양한 정책을 내놓고 있다.

이전 논문**[3]**에서는 전기자동차와 수소연료전지자동차에 관한 기술 개요와 국내외 정책 동향 등에 대한 문헌조사를 통하여 현재의 연구 기술 동향을 분석하였다. 문헌을 분석한 결과, 폐배터리 재사용 및 재활용과 인-휠 모터 시스템이 전기자동차와 수소연료전지자동차 개발에 있어 필요불가결한 분야임에 반해 관련 연구가 다소 미흡하다고 판단되어 본 논문에서는 향후 추가 연구에 관한 방향을 제안하였다.

2. 폐배터리 재활용 및 재사용

환경부(Ministry of Environment, 2021)에 의하면 기후변화에 대응하기 위해 전기차 보급이 확대되고 있으며, 그에 따른 폐배터리 발생량이 증가할 것으로 전망했고 2025년 폐배터리 배출량을 31,696개로 예상하였으며(Table 1), 2028년 이후 폐배터리 시장은 본격화될 것으로 전망하였다(H. I. Son, 2021).

[†]E-mail: plasma89@naver.com

Table 1. Estimated amount of waste battery discharge (Ministry of Environment, 2021)

Year	2021	2022	2023	2024	2025
Quantity (EA)	1,075	2,970	5,914	13,826	31,696

폐배터리의 처리 절차는 전기자동차 소유자가 정부에 폐배터리를 반납하고 미래 폐자원 거점 수거센터에 운송하여 회수한 폐배터리의 남은 용량과 수명 등 잔존가치를 측정한 후 재활용과 재사용으로 분류하여 민간에 매각하게 되는 형태이다.

재사용은 단순 수리 및 수선과 재조립을 통해 에너지 저장장치, 무정전전원장치로 사용할 수 있다.

현재 국내 폐배터리 재사용에 대표적인 사례는 현대자동차 그룹이다. 2018년 6월 현대자동차는 핀란드 에너지 기업 바르질라사와 파트너쉽을 체결하고 아이오닉 차량의 사용 후 배터리를 활용한 1MWh급 산업용 에너지 저장장치 실증에 착수하였고 현대자동차 울산 공장에 2MWh 규모의 ESS를 설치하여 태양광으로 들어오는 전력을 저장했다가 필요시에 전달하는 체계를 구축해 운전 중이다(H. D. Lee & O. T. Lim, 2021). 그러나 폐배터리 재사용의 경우 현대자동차, GM, BMW, Nissan과 같이 완성 자동차 회사 기준 연구단계의 수준(KDB Future Strategy Research Institute, 2019)이며 국내외 시범사례가 없어 법규화가 진행 중이다(Samjeong KPMG, 2022).

재활용은 추출공정을 통한 코발트, 니켈 등의 유가금속을 회수하여 재활용할 수 있다. 배터리 구성의 50%는 양극 활, 음극 활 물질로 구성되어 있으며, 재료를 수입에 의존하고 있다. 배터리 재활용으로 인하여 안정적으로 국내 기업들의 재료 확보가 원활할 것으로 전망된다(KDB Future Strategy Research Institute, 2019).

국내 재활용의 사례 중 삼성SDI와 성일하이텍은 업무협약을 통해 내부에서 발생하는 소형전지 불량품 등으로부터 희유금속을 추출하여 재활용(H. I. Son, 2021)하고 있으며 SK이노베이션의 경우 배터리에서 수산화리튬을 회수하는 기술을 개발하여 2024년부터 상업적인 생산을 시작한다는 목표를 제시했다.

위에서 분석해본 결과 국내 폐배터리 재사용 및 재활용에 관한 산업은 시범단계 수준에서 발전해 나가고 있으나 안전성과 진단 등급 체계 등 구체적인 방안 연구가 부족한 실정이므로 향후 추가적인 연구 방향에 대해 제안하고자 한다.

첫째 재활용 및 재사용에 대한 발화 및 폭발 가능성 등 안전성에 관한 연구가 필요하다. 산업통상자원부 발표자료(Ministry of Trade, Industry and Energy, 2018)에 의하면 2017년 8월부터 2018년 12월 중 총 16건의 에너지저장장치의 화재사고가 발생하는 안전상의 문제가 생기고 있다. 리튬이온배터리 재사용에 대한 상업적인 활용을 위해서는 안전성 검토 및 연구가 필수로 선행되어야 한다(KDB Future Strategy Research Institute, 2019).

둘째 폐배터리는 현재 등급 기준이 정확하게 없는 상태다. 폐배터리의 선별 기준은 잔존 용량이 70~80% 이하로 떨어질 시 폐배터리로 지정하는 것으로 한정되어 있으며 70% 이상에 따른 등급 선별 기준이 명확하게 정의되어 있지 않은 상태이다(H. D. Lee & O. T. Lim, 2021). 또한, 배터리의 셀 단위, 모듈 단위, 배터리 본체 단위에서 해체 수준을 어느 정도에서 진행할 것인지 등의 판단도 중요한 기술적 사안이다(J. G. Lee, 2021).

SNE Research (2022) 자료에 의하면 재활용 시장 규모는 한화기준 2030년 6조 원, 2040년은 66조 원 규모로 전망하고 있다. 2028년 이후 본격화될 폐배터리 재사용 및 재활용 시장에서 기술 동향 파악을 통한 준비가 4차 산업시장에서 국제적으로 주도권을 잡을 수 있으리라 판단된다.

3. 인-휠 모터 시스템

인-휠 모터는 1900년 포르쉐에 의해 최초 고안되었으나 그 당시 기술력으로는 시스템적으로 구현이 어려웠고 내연기관 자동차의 발달로 주목받지 못한 기술이었다(Korea Institute of Science and Technology Information, 2015). 그러나 친환경자동차가 다시 주목받기 시작하면서 전기 구동이 확장됨에 따라 인-휠 모터가 차세대 구동 시스템으로 부상하게 되었다.

기존의 내연기관 자동차 또는 전기자동차는 엔진, 미션, 모터 및 드라이브 샤프트를 이용하여 구동하는 방식이지만 인-휠 모터는 구동모터와 브레이크 시스템, 하중 스프링 등을 통합하여 부착된 시스템이다. 이 시스템을 통해 각각의 바퀴를 차량의 주행상태에 따라 독립적인 제어가 가능하여 주행 성능이 크게 향상되고(S. H. Jeong, 2017), 모터가 동력 손실 없이 바퀴를 직접 구동시키기 때문에 엔진에서 바퀴까지 동력을 전달하는 내연기관의 열효율이 35~45%인 반해 인-휠 모터는 전륜, 후륜 그리고 사륜구동을 선택적으로 사용할 수 있어 95% 이상의 우수한 열효율을 가지고 있다. 또한 엔진, 미션, 드라이브 샤프트 및 프로펠러 샤프트 등의 동력전달장치도 불필요하여 공간 활용도가 높아지게 된다. 따라서 설계의 자유성이 증가 및 저 중심 설계가 가능하게 되어 미래의 자동차 차체구조를 변화시킬 수 있다. 인-휠 모터는 최근에 전동스쿠터, 전기자전거 등 이용되고 있으나 전기자동차와 수소연료

전지자동차에 적용하여 상용화가 본격적으로 이루어지기 위해서는 다음과 같은 기술적 문제를 해결해야만 한다.

첫째, 기존 내연기관 및 전기자동차와는 다르게 모터가 현가장치 밑에 위치하기 때문에 기존의 현가장치 위에 동력장치가 위치하던 내연기관 자동차와 다르게 스프링 하중량이 증가하게 되고 진동과 충격에 취약하게 되어 험한 도로 주행성이 나빠지게 된다. 인-휠 모터는 바퀴 휠에 전달되는 충격과 진동을 그대로 받아내야 하는 특성상 증가한 질량에 의해 기존보다 악조건에서 설계가 이루어져야 한다. 그로 인해 스프링 하중량 감소, 내충격성 등 많은 기술적 개발이 필요하다(D. H. Kim *et al*., 2010).

둘째, 인-휠 모터의 감속기는 고속회전을 하게 되며 이에 따라 모터 대비 기어의 접촉과 작용 하중에 의해 내부 기어열에서 큰 진동과 구조적 소음이 발생하게 되고 구동 성능 및 내구성 저하에 큰 영향을 주게 되며, 실내로 소음을 전달시키므로 감속기의 저소음 설계는 인-휠 모터 시스템 구축에 있어 필수적이다(I. H. Hong & S. H. Park, 2017). 그러나 국내에서는 저소음 감속기에 관한 연구가 미흡한 실정이다(B. H. Kim *et al*., 2019).

셋째, 인-휠 모터는 방열 성능에 따라 출력, 효율 및 내구성에 지대한 영향을 미치기 때문에 원활한 냉각을 위한 효과적인 설계가 필수적이다(M. H. Park *et al*., 2019). 그러나 휠 하우스 안에 모든 시스템이 통합되어있는 인-휠 모터 특성상 구동, 제동, 조향, 샷시 시스템과의 간섭(D. H. Kim *et al*., 2010)으로 인하여 방열 성능 향상에 있어 기술적인 어려움이 있다.

위의 내용을 분석해본 결과, 인-휠 모터 시스템은 모터의 방열 성능, 내구성, 저소음 감속기, 스프링 하중량 등의 기술적 문제가 나타났다. 인-휠 모터가 상용화되었던 사례를 보면 2018년 이후부터 현대자동차 자사 버스에 인-휠 모터를 장착하여 출시한 일렉시티 버스의 경우 스프링 하중에 의해 감속기의 기어가 마모 또는 유격이 발생해 쇳가루에 의한 소음 문제가 제기되었으나 기술적인 한계로 인하여 해결하지 못해 전량 리콜한 사례(Ministry of SMEs and Startups, 2022)와 테슬라, 비야디(BYD) 등 세계적인 주요 전기자동차 업체들은 인-휠 모터 개발에 실패하여 기술적인 한계로 감속기 2개를 채용한 방식을 사용하는 사례가 있다.

현재 인-휠 모터는 완벽하지 않은 연구단계인 기술이다. 따라서 향후 인-휠 모터가 상용화되기 위해서는 하중 스프링의 경량화 기술, 모터의 성능 및 내구성 향상을 위한 방열 설계 기술 향상, 고효율과 고신뢰성을 기반으로 한 저소음 감속기에 관한 추가적인 연구가 필수적이다.

중소벤처기업부(Ministry of SMEs and Startups, 2022)에 의하면 인-휠 모터 시스템은 일본이 최고 기술국으로 평가받고 있으며, 우리나라의 경우 최고 기술국 대비 70.7%의 기술 수준을 보유하고 있다고 분석하였다. 인-휠 모터의 시장 규모는 2020년 5억 4,100만 달러에서 2026년 43억 9,500만 달러로 연평균 40.3% 성장할 것으로 전망(Fig. 1)하고 있으며 기술을 선점하기 위해 테슬라, 혼다, 도요타, GM 등의 기업들이 인-휠 모터 시스템 개발에 집중하고 있다. 국내 기업의 경우 응답성이 좋은 고정밀 제어기술 개발과 유랭식 혹은 수랭식 냉각방식의 영구자석 동기전동기(PMSM) 방식으로 부족한 토크를 보완하기 위해 모터에 감속기를 부속시켜 전류밀도를 높이는 방향으로 개발되고 있다.

국내 자동차 산업은 제조업 생산의 13%를 차지할 정도로 매우 중요한 산업이다. 인-휠 모터 기술은 미래 자동차의 디자인과 안전성 및 구동 시스템을 변화할 것이며 친환경자동차 발전에 있어 획기적인 기술로 전망된다. 국내 기업이 선점할 경우 우리나라 경제에 큰 기여가 될 것이고 전 세계적으로 친환경자동차 기술의 큰 패러다임을 제시할 것이다.

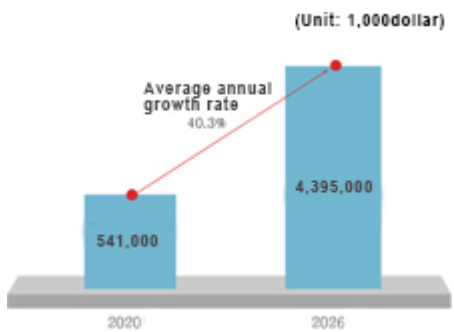

Fig. 1. In-Wheel Motor Global Market Forecast (Markets & Markets, 2021).

4. 요약 및 결론

친환경자동차 개발은 자동차 산업의 발전과 국가 경제 활성화를 위한 이익창출이 목적이 아닌 산업혁명 이후 매년 상승하고 있는 지구의 온도 상승을 억제하기 위한 4차 신흥 산업이다. 이처럼 친환경자동차 기술의 변화는 초읽기 상태에 접어들었으며 친환경자동차는 단순한 이동수단을 넘어 전 지구적 시스템의 변화를 맞이할 기술일 것으로 판단된다.

이전 논문[3]은 2015년부터 2021년까지의 전기자동차 및 수소연료전지자동차 기술과 연구 동향을 파악하고 분석하였다는 점에서 향후 친환경자동차 개발전략 수집에 유용한 지표가 될 것이다.

정책 동향을 분석해본 결과 기존 미국, 일본, 유럽 등의 자동차 강국들은 적극적인 정책과 충전 인프라 및 보급 투자로 인하여 빠르게 친환경자동차가 확산하고 있으며 2030년에는 1억 4천만 대 이상이 판매될 것으로 전망된다. 이는 국제적으로 화석연료 고갈과 탄소배출량에 의한 지구 온난화가 급격하게 이루어지는 문제를 해결하기 위해 국제사회가 빠른 변화를 추구하고 있다는 것을 알 수 있다.

선행연구를 분석한 결과 전기자동차 및 수소연료전지자동차에 개발에 있어 필수적으로 뒷받침되어야 할 폐배터리 재활용과 재사용, 인-휠 모터 시스템 기술이 다소 미흡하다고 판단되어 향후 추가적인 연구 방향에 대하여 제안하였다.

첫째, 폐배터리 재활용 및 재사용에 관한 안전성과 진단 등급 체계 등 구체적인 방안 연구가 부족한 실정을 제시하여 향후 추가 연구에 대한 방향성을 제시하였다.

둘째, 차세대 모터 시스템인 인-휠 모터 시스템을 통해 현재까지 개발된 인-휠 모터 시스템의 한계점인 방열 성능, 내구성, 저소음 감속기, 스프링 하중량 등의 기술적 문제를 제시하였고 하중 스프링의 경량화, 방열 설계 기술 향상, 저소음 감속기 등 추가적인 연구가 필요함을 제안했다.

향후 자동차 산업의 추세는 기존 내연기관 기술이 아닌 배터리 및 전자제어 등의 신흥 기술로서 테슬라, 구글, 우버와 같은 신생기업과 IT업계의 전기자동차 시장 진출이 가속화되고(J. H. Kim & S. Y. Park, 2020) 있음을 확인하였다. 따라서 전기자동차와 수소연료전지자동차의 경우 내연기관 자동차에 비교하여 부품 수가 적고 핵심 부품에 대한 외주화가 가능하여 기술 진입장벽이 낮아지기 때문에 시장 경쟁이 격화될 전망이다.

내연기관에서 친환경자동차로 넘어가는 과도기적인 시점에 인터넷과 전자기기가 처음 보급되었을 때와 같이 많은 사회적 혼란이 미칠 것으로 야기된다. 그러나 현재의 연구 동향 분석과 향후 연구 동향을 예측하고 정부의 적극적인 지원 정책이 더해져 단기간의 성과보다는 10년을 준비하는 자세로 지속적인 기술 투자와 연구개발을 통한 독자적인 기술 확보를 한다면 4차 산업시대를 이끌어 갈 수 있는 선진국으로 도약할 수 있을 것이다.

다음 연구에서는 전기자동차와 수소연료전지자동차 기술 동향 분석을 통한 향후 추가 연구에 대한 제안 범위를 넘어서 해외 친환경자동차 논문 및 특허 동향을 분석해서 글로벌 전기자동차 특허 기술 동향에 대해 확장하여 연구해보고자 한다.

참고문헌

1. Joint with relevant ministries, “Korean New Deal 2.0 – The country that makes the future, Republic of Korea”, 2021.
2. Y. S. Son, "Status of Electric Vehicle Industry and Technology Development," Auto Journal, 43(9), 39-45, 2021.
3. K. H. Ahn & J. H. Ko, “Future Research Direction through Reviewing Recent Trends in Environment-friendly Vehicles Research (Part 1)”, *to be published* in Journal of the Semiconductor and Display Technology, 2022
4. Ministry of Environment, "Promoting recycling of waste batteries in electric vehicles in earnest," press release, 2021.
5. H. I. Son, "Introduction of Re-Use and Re-Cycling Industries in Waste Batteries of Electric Vehicles", World of Electricity, 70 (11), 10-15, 2021.
6. H. D. Lee & O. T. Lim, "Policy Proposal to foster the battery reuse industry after using electric vehicles," Journal of Korean Society of Hydrogen and New Energy, 32(4), 263-270, 2021.
7. KDB Future Strategy Research Institute, "Status and Implications for Utilization of Waste Batteries in Electric Vehicles", 2019.
8. Samjeong KPMG, "Battery Circulation System: Rise of the Electric Vehicle Waste Battery Market and Corporate Response Strategy", 2022.
9. Ministry of Trade, Industry and Energy, "Implementation of Emergency Measures to Respond to ESS Fire Accidents", Press Release, 2018.
10. J. G. Lee, "Electric Vehicle Waste Battery", ASTI Market Insight 04, 2021.
11. SNE Research, "http://www.sneresearch.com - Global Waste Battery Market Forecast", 2022.
12. Korea Institute of Science and Technology Information, "Electric Vehicles with In-Wheel Motor", 2015.
13. S. H. Jeong, "Technology Trends of Next-Generation Eco-Vehicles – Japan", Auto Journal, 39(7), 15-19, 2017.
14. D. H. Kim, K. H. Shin, S. M. Lee & T. J. Yeo, "Development of Small Vehicle Rear Wheel In-Wheel Drive System", Autumn Academic Conference and Exhibition of the Korean Society of Automotive Engineers, 1350-1354, 2010.
15. I. H. Hong & S. H. Park, "A Study on Noise Reduction of In-Wheel Reducer with Two-Stage Deceleration Structure", Autumn Academic Conference and

Exhibition of the Korean Society of Automotive Engineers, 1273-1279, 2017.
16. B. H. Kim, J. K. Hong, S. Yoon, K. H. Shin, K. H. Min & J. T. Jung, "Noise Reduction of In-Wheel Motor System for Electric Vehicles," Journal of the Korean Society of Noise Vibration Engineering, 29(3), 422-428, 2019.
17. M. H. Park, J. H. Lee & S. C. Kim, "A Study on the Thermal Characteristics of In-Wheel Motor for Electric Vehicles and the Effect of Oil Spray Cooling", Spring Academic Conference of the Korean Society of Automotive Engineers, 1392, 2019.
18. Ministry of SMEs and Startups, "Strategic Technology Roadmap 2022-2024", 2022.
19. Markets & Markets. https://www.Marketsandmar kets.com, “In-Wheel Motor Market Global Forecast to 2026”, 2021.
20. J. H. Kim & S. Y. Park, "Introduction of Technology for Estimating the Status of Battery Management Systems for Electric Vehicles", Auto Journal, 42(10), 26-30, 2020.

접수일: 2022년 12월 12일, 심사일: 2022년 12월 15일, 게재확정일: 2022년 12월 20일