

중대형 고급차량을 위한 후륜조향장치 리드스크류 모듈 적용 및 기술개발 동향 연구

조진표*, 박형준**, 현승균*, 김광희*

*인하대학교 제조혁신전문대학원

**태양금속공업(주)

e-mail : realwind@inha.ac.kr

A Study on the Application and Technological Development Trends of Rear Wheel Steering Lead Screw Modules for Large and Premium Vehicles

Jin-Pyo Cho*, Park, hyung jun**, Seung-Gyun Hyun*, Kwang-Hee Kim*

*Manufacturing Innovation School, Inha University

**Taeyang Metal Co., Ltd.

요 약

중대형 고급차량의 주행 성능과 기동성을 향상시키기 위한 후륜조향장치(RWS, Rear Wheel Steering) 기술은 글로벌 주요 완성차 제조사들과 부품업체들에 의해 활발히 개발되고 있다.

현대모비스는 자율주행차, 전기차 시대를 대비하여 후륜조향 시스템을 독자 개발하고 있으며, 특히 리드스크류 기반의 고정밀 액추에이터와 전자제어장치(ECU)를 통합한 일체형 모듈을 완성하였다. 현대모비스의 후륜조향 시스템은 저속에서는 전륜과 반대 방향, 고속에서는 동일 방향으로 후륜을 조향하여 주차 편의성과 고속 주행 안정성을 동시에 개선하는 기능을 갖추고 있다.

만도는 리드스크류 유닛을 기반으로 고응답성 조향 시스템을 개발하고, 비상 시에도 안전성을 유지할 수 있도록 다양한 Fail-Safe 기술을 적용하고 있다. 독일 BMW는 고급 세단과 SUV 모델에 4WS 시스템을 적용하여 회전반경 축소 및 고속 코너링 성능을 강화하고 있으며, 포르쉐와 메르세데스-벤츠는 고급 스포츠카 및 플래그십 모델에 10도 이상의 후륜 조향각을 제공하여 주행 퍼포먼스를 극대화하고 있다. 닛산은 전자제어 기반 SUPER HICAS 시스템을 꾸준히 개선하고 있으며, 르노와 토요타는 4WS를 통해 대형 승용차 및 하이브리드 차량의 조종안정성과 차체 기동성을 높이고 있다. 이처럼 후륜조향 기술은 전동화, 자율주행 트렌드에 맞춰 고도화되고 있으며, 리드스크류 모듈의 경량화, 고내구성, 정밀 제어 기술이 핵심 경쟁력으로 부상하고 있다.

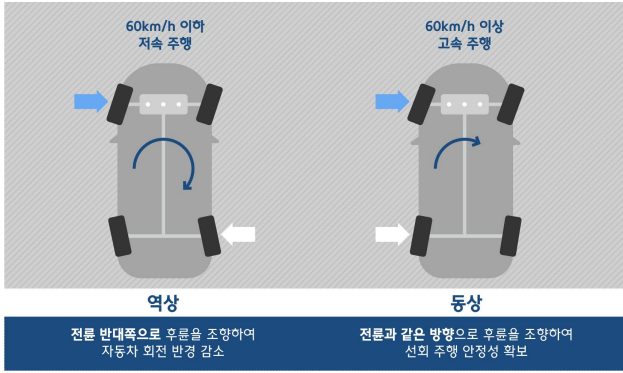
1. 서론

최근 자동차 산업은 전동화, 자율주행, 고급화 트렌드의 가속화와 함께 차량의 주행 안전성과 기동성을 동시에 향상시킬 수 있는 첨단 조향 기술에 대한 수요가 급증하고 있다. 특히 중대형 고급차량을 중심으로 후륜조향장치(Rear Wheel Steering, RWS)의 적용이 확대되고 있으며, 이를 통해 저속에서는 회전반경을 줄이고 고속에서는 주행 안정성을 강화하는 기능이 중시되고 있다. 후륜조향 시스템의 핵심 부품인 리드스크류 모듈은 모터 기반의 정밀 구동을 통해 후륜 조향각을 제어하는 역할을 수행하며, 모듈의 정밀성, 내구성, 경량화 기술이 차량의 조향 성능과 직결된다.

현대모비스를 비롯한 주요 글로벌 부품사는 리드스크류 액추에이터 일체형 후륜조향 시스템 개발을 완료하고, 고출력 모터와

고신뢰성 제어기술을 기반으로 상용화를 추진하고 있다. BMW, 메르세데스-벤츠, 포르쉐 등은 4WS 시스템을 대형 세단과 SUV에 적용하여 주차 편의성과 고속 주행 안정성을 동시에 확보하고 있으며, 일본 닛산은 SUPER HICAS 시스템을 기반으로 전자제어 후륜조향 기술을 지속적으로 개선하고 있다. 이러한 흐름은 향후 전기차 및 자율주행차에 필수적으로 요구되는 고정밀 조향 시스템 기술 확보와도 밀접하게 연결된다.

본 연구는 중대형 고급차량을 대상으로 한 후륜조향장치 리드스크류 모듈의 적용 사례와 기술개발 동향을 종합적으로 고찰하고, 주요 기업들의 연구개발 방향과 기술적 차별성을 분석하여 향후 기술 발전 방향을 제시하고자 한다.



[그림 1] 후륜 조향시스템 제어 특성^[2]



[그림 2] 후륜조향 장치의 차량 장착 이미지^[11]

2. 연구방법 및 경계조건

2.1 후륜 조향 시스템

[그림 1]에는 후륜 조향 시스템(RWS, Rear Wheel Steering System)의 구동에 차량 주행 상황에 따라 전륜 조향각에 맞춰 후륜을 능동적으로 제어하는 기술을 나타 내었다. 전륜만으로 방향을 조정하던 기존 방식과 달리, 후륜도 적극적으로 조향에 참여하여 주행 성능을 향상시키는데, 사륜 조향(4WS)과 다르게, 후륜이 독립적으로 움직이기보다는 전륜 조향에 맞춰 후륜을 일괄적으로 제어하는 구조를 가진다. 차량의 주행속도에 따라 조향 방식이 달라지는데, 저속(60km/h 이하)에서는 전륜과 반대 방향으로 후륜을 조향하여 회전 반경을 줄이고, 좁은 공간에서도 기동성을 확보할 수 있다. 반면, 고속에서는 전륜과 같은 방향으로 후륜을 조향해 차량의 안정성을 높이고 차체 미끄러움을 줄여준다.

[그림 2]에서는 실제 차량에 장착된 후륜 조향장치 장착 이미지를 보여준다.

2.2 후륜조향시스템 연구동향

최근 후륜조향시스템(RWS) 관련 연구는 조종 안정성과 승차감 향상에 초점을 맞추어 활발히 진행되고 있다. 2024년에는 동

상·역상 제어 컨셉에 따른 조종 안정성과 불편감 평가 연구가 발표되었으며, 2023년에는 좌우 10도 독립형 조향 시스템과 전륜 조타력 변동 연구가 한국자동차공학회에 등재되었다.

또한 모델 예측 제어(MPC)를 통한 토크벡터링 및 RWS 통합 제어, 고성능 Linear Position Sensor 개발 연구도 활발히 이루어졌다. 이외에도 Brake Torque Vectoring과 RWS를 조합하여 4륜 구동 차량의 선회 성능을 향상시키는 연구, 사시 통합 제어 기반의 횡방향 안정성 개선 연구 등이 진행되어 왔다. 전반적으로 후륜조향 기술은 제어 정밀도, 차량 안정성, 자율주행 대응성 강화를 중심으로 고도화되고 있다.

2.3 후륜조향시스템 특허동향

후륜조향장치 기술과 관련하여 국내외에서는 다양한 특허가 출원되고 있으며, 주로 리드스크류를 이용한 후륜 조향 메커니즘, 위치 제어를 위한 센서 구조, 조향 오버스트로크 방지 기술 등이 주요 연구 대상이다.

현대모비스는 리드스크류 유닛을 기반으로 후륜 조향각 제어를 최적화하는 기술과, 마그네틱링을 활용한 위치감지 기술 관련 특허를 다수 확보하였다. 만도는 중고속 주행 영역에서의 조타 각속도 제어 및 차량 자세 안정화 관련 기술을 특허화하였다. 이러한 특허들은 리드스크류 모듈의 정밀 제어, 내구성 강화, Fail-Safe 기능 확보를 통해 후륜조향시스템의 안전성과 신뢰성을 높이는 데 중점을 두고 있다.

2.4 후륜조향시스템 기술개발 동향

후륜조향장치는 차량의 주행 성능을 극대화하기 위해 지속적으로 발전해왔으며, 최근에는 고전적인 수동형·능동형 구분을 넘어 다양한 주행 모드를 지원하는 첨단 기술로 확장되고 있다. 전통적인 후륜조향 시스템은 저속에서는 전륜과 반



[그림 3] 후륜조향 장치 주행기술^[2]

대 방향(역상)으로 후륜을 조향하여 회전반경을 줄이고, 고속에서는 전륜과 같은 방향(동상)으로 후륜을 조향하여 직진 안정성을

높이는 방식으로 운영된다. 특히 60km/h 이하에서는 Reverse-phase mode(역상 주행)가 적용되어 좁은 공간에서도 뛰어난 기동성을 제공하며, 고속 영역에서는 Diagonal driving mode(동상 주행)를 통해 고속 주行的 안전성과 조종성을 강화한다.

최근 연구개발은 이를 넘어 사륜조향 시스템을 활용한 새로운 주행 모드를 구현하고 있다. 중심축 회전 기능은 차량이 특정 지점을 중심으로 선회하여 대형 SUV나 픽업트럭에서도 협소한 공간에서 탁월한 회전 성능을 발휘하게 한다. 크랩 주행(Crab driving)은 전륜과 후륜을 동일 방향으로 조향하여 차량을 대각선 방향으로 이동시켜 좁은 골목이나 평행 주차 시 편리성을 높인다. 또한 제로 턴(Zero-turn)은 차량이 제자리에서 회전할 수 있도록 하여 도심지나 비포장 도로 등 복잡한 주행 환경에서도 뛰어난 기동성을 가능하게 한다. 이처럼 후륜조향 기술은 단순 조향 보조를 넘어 스마트 모빌리티 기반 핵심 기술로 진화하고 있으며, 향후 자율주행차 및 전동화 차량에서도 중요성이 더욱 부각될 전망이다.

한편, 후륜조향장치는 적용 방식에 따라 수동형과 능동형으로 구분된다. 수동형 후륜조향장치는 주행 중 발생하는 자연스러운 하중 이동에 의해 후륜 토우가 변화하는 방식으로, 전자제어 없이 기구적 특성만으로 조향 효과를 얻는다. 대표적인 수동형 적용 차종으로는 Mazda RX-7 FC3S, Honda Prelude 3세대(4WS), Porsche 928, Isuzu 제미니, Rover 200 시리즈 등이 있다. 반면, 능동형 후륜조향장치는 전자제어 시스템과 액추에이터를 통해 주행 조건에 따라 후륜 조향을 적극적으로 제어하는 방식이다. BMW 850CSI(AHK), Nissan Skyline GT-R(BNR32/33/34, SUPER HICAS), Porsche Panamera(971), Mercedes-Benz S-Class(W223), Toyota Crown, Hyundai G80 스포츠(RWS) 등이 대표적 능동형 적용 사례다. 능동형 시스템은 저속에서는 전륜과 반대 방향, 고속에서는 동일 방향으로 후륜을 조향하여 회전반경 축소와 고속 안정성을 동시에 실현한다.

수동형 시스템은 구조가 단순하고 비용이 적게 드는 장점이 있지만 제어 범위와 정밀성에 한계가 있다. 반면 능동형 시스템은 고정밀 조향과 다양한 주행 조건 대응이 가능하지만, 시스템 복잡성과 높은 비용이 단점으로 지적된다. 최근에는 기술 발전과 함께 능동형 후륜조향 시스템이 고급차량 및 전동화 차량을 중심으로 빠르게 보급되고 있으며, 향후 차량 설계의 표준 기술로 자리잡을 것으로 기대된다.

4. 결론

본 연구에서는 중대형 고급차량을 중심으로 후륜조향장치(RWS)와 리드스크류 모듈 적용 기술의 동향을 고찰하였다. 최근 전동화 및 자율주행 기술 발전에 따라 차량의 기동성과 주행 안정성을 동시에 향상시킬 수 있는 후륜조향시스템의 중요성이 부각되고 있으며, 현대모비스, BMW, 닛산 등 주요 기업들이 능동형 후륜조향기술을 고급차량에 적극 적용하고 있다.

연구 동향 분석 결과, 후륜조향은 저속에서는 기동성 개선, 고속에서는 안정성 확보를 목표로 하며, 정밀한 리드스크류 제어기술과 통합 사시 제어가 핵심으로 떠오르고 있다.

향후에는 고성능 센서, AI 기반 예측제어 기술이 접목된 지능형 RWS 개발이 가속화될 것으로 기대되며, 이는 전기차 및 자율주행차 시대의 핵심 조향기술로 자리잡을 전망이다.

[후기]

본 논문은 인하대학교 제조혁신전문대학원 석사학위 프로젝트 진행과 학위논문 제출을 위해 발표한 논문입니다.

참고문헌

- [1] "마법 같은 방향 틀기" 20년 전에 나왔는데 요즘 주목 받는 사륜조향", <https://www.autoherald.co.kr/news/articleView.html?idxno=42364>
- [2] "테슬라 사이버트럭에 적용된 SBW, 후륜조향(RWS) 알아보기(feat. 사륜조향 4WS)", <https://mobislive.com/service/mobisview.html?page=1&id=1250&category=8&subcategory=3&series=65>