

자동차용 능동 전륜 조향 제어 시스템 설계

조영훈, 제성규, 윤석찬
현대모비스 기술연구소 선행HT팀

Development for Automotive Active Front Steering System

Younghoon Cho, Sungkyu Je, Seokchan Yun
Advanced High-Tech Team, Technical Research Institute, Hyundai MOBIS

ABSTRACT

본 논문은 자동차용 능동 전륜 조향 제어 시스템을 소개한다. 능동 전륜 조향 장치는 조향의 편의성과 안정성을 위하여 조향비를 가변하거나 유사시 능동적으로 전자 제어 유닛(Electronic Control Unit : ECU)이 액추에이터를 제어해 주는 시스템이다. 최근 전자 사시 시스템의 개발 추세인 사시 통합 제어 관점에서 능동 전륜 조향 장치의 역할을 설정하고 성능 만족을 위한 제어기 구조에 관하여 설명한다. 설계된 제어 시스템은 3,300cc급 대형 승용차에 적용하여 그 유용성을 검증하였다.

1. 서 론

최근 자동차에 전자 기술을 접목하여 성능 향상 및 신기술 개발에 관한 연구가 전 세계적으로 이루어지고 있다. 특히 MDPS(Motor Driven Power Steering), ESC(Electronic Stability Control) 등과 같은 차량의 거동성, 주행 안정성, 편의성 및 연비 향상에 관련된 전자 사시 제어 분야의 연구 및 상품 개발이 매우 활발하다. 전자 조향 시스템의 최종 목적은 스티어 바이 와이어(Steer By Wire : SBW) 시스템으로써 기구 패키지 자유도 증가, 다양한 조향 제어 전략 구현 및 충돌 안정성 향상과 같은 장점을 가지고 있음에도 불구하고 신뢰성 문제로 인하여 아직 선형 연구 단계에 머무르고 있는 실정이다^[1]. 능동 전륜 조향 장치(Active Front Steering : AFS)는 현재 다수의 차량이 적용중인 MDPS 와 미래의 조향 장치인 SBW의 중간 단계에 있는 시스템으로써, MDPS 시스템의 신뢰성과 SBW의 주요 장점을 결합한 가까운 미래의 차세대 전자 조향 시스템이다. 현재 독일의 B社, 일본의 T社등에서 고급 차량에 AFS를 양산 적용 중이다^[2].

본 논문은 실용화를 목적으로 개발한 AFS 제어 시스템의 설계에 관한 것이다. 설계된 시스템은 3,300cc급 대형 승용차에 적용하여 실차 주행 조건하에서 그 유용성 및 안정성을 검증하였다.

2. 본 문

2.1 능동 전륜 조향 장치(AFS)의 구조

그림 1은 본 논문에서 다루는 AFS 시스템이다.

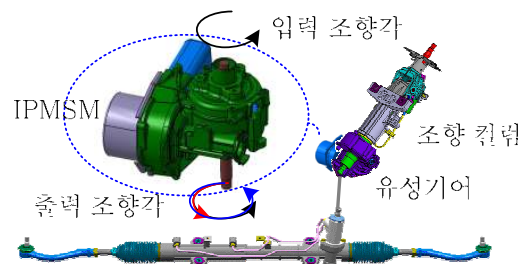


그림 1 능동 전륜 조향 장치의 구조
Fig. 1 Mechanical Structure of the Active Front Steering system

AFS 시스템은 조향 킬림과 기어박스 사이가 유성 기어로 커플링된 형태의 액추에이터로 구성되어 있고 3상 IPMSM(Interior Permanent Magnet Synchronous Motor)을 이용하여 기어박스부의 위치를 정해진 제어 전략에 의해 제어한다. AFS 시스템의 가장 큰 특징은 유성기어에 의하여 기계적인 연결을 유지하면서 입력 조향각 대비 출력 조향각의 크기를 가변할 수 있다는 것이다.

2.2 능동 전륜 조향 장치의 제어

그림 2는 능동 전륜 조향 장치의 제어기 구조를 나타낸다. 능동 전륜 조향 장치의 제어는 차량의 거동성 제어를 위하여 모터의 위치 또는 토크 지령을 만드는 AFS 제어기(상위 제어기)와 만들어진 지령을 신속하고 안정적으로 추종하도록 해주는 모터 제어기(하위 제어기)로 구분할 수 있다^[3].

AFS 제어기는 크게 가변 기어비(Variable Gear Ratio : VGR) 로직과 차량 동특성 제어기(Vehicle Dynamics Controller :VDC)로 구성되어 있고 그 외 안정화 필터(Stabilization Filter)가 추가되어 있다.

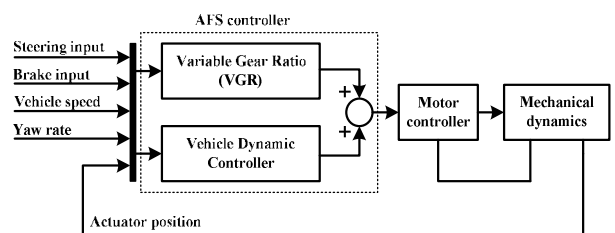


그림 2 AFS 시스템의 제어기 구조
Fig. 2 Controller structure of AFS system

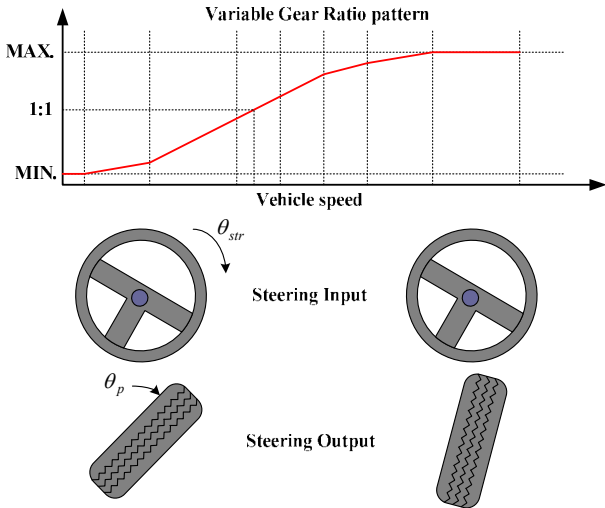


그림 3 VGR 로직의 동작 원리
Fig. 3 Operational principle of VGR logic

그림 3은 VGR 로직의 기본 동작 원리를 나타낸다. VGR 로직은 저속에서는 조향비를 낮춰서 적은 조향 입력으로도 큰 조향 출력을 얻을 수 있게 하고 고속에서는 조향비를 높여서 큰 조향 입력이 들어와도 적은 조향 출력을 내보내 편의성과 안정성을 향상시키는 역할을 한다. 차량 동특성 제어기는 조향 신호, 제동 신호, Yaw 신호등을 입력받아 차량의 과도한 오버스티어 및 언더스티어, 미끄러짐을 감지하여 능동적으로 출력 조향각을 조절하여 입력 조향각을 최대한 추종하도록 해주는 역할을 한다.

모터 제어기는 AFS제어기로부터 입력받은 모터 위치 지령값을 신속하고 정확하게 추종하도록 해주는 역할을 하며 크게 위치 제어기, 속도 제어기, 전류 제어기로 구성되어 있다. 위치 제어기는 PD제어기를 기본으로 취하고 있으며, 디지털 시지연 및 시스템 지연등을 고려하여 진상 보상기(Lead Compensator)를 가지고 있다. 속도 제어기는 PI제어기와 타이어의 조향 각속도를 입력으로 취하는 진행 제어기(Feedforward Controller)로 구성하였다. 전류 제어기는 최대 300[Hz]의 제어 대역폭을 가지는 PI 제어기로 구성하였고 약자속 제어를 적용하였다. 각 제어기들의 제정수들은 차량의 속도, 조향각속도 및 액추에이터의 응답성을 고려하여 실시간으로 변동되어 다양한 주행 및 조향 조건에서 감성품질을 만족하며 우수한 위치 제어 성능을 가지도록 구성되어 있다.

3. 실험결과

3.1 실험장치 구성

그림 4는 개발된 능동 전륜 장치의 기구부, 매입형 영구자석 모터 및 전자 제어 유닛(Electronic Control Unit : ECU)을 나타낸다. PWM의 스위칭 주파수는 AFS 시스템이 운전석 아래에 탑재됨을 고려하여 가청 주파수 이상인 20[kHz]로 선정하였다. 매입형 영구자석 모터의 위치 절대각 위치 검출을 위하여 직렬 동기 통신이 가능한 자기식 리니어 홀 센서를 적용하였다. 그림 5는 전체 실험 시스템의 구성도를 나타낸다.

차량의 엔진 제어기로부터 출력되는 차량 주행 상태, 조향휠 및 액추에이터 조향각은 CAN(Controller Area Network)을 통하여 AFS ECU 로 전달된다. AFS ECU는 별도의 모니터링용

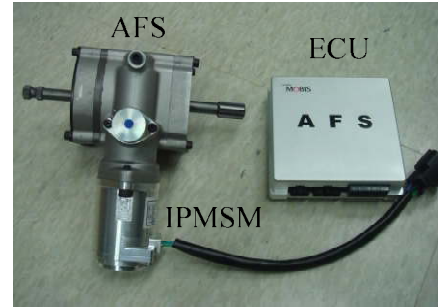


그림 4 개발된 AFS 시스템
Fig. 4 Developed AFS system

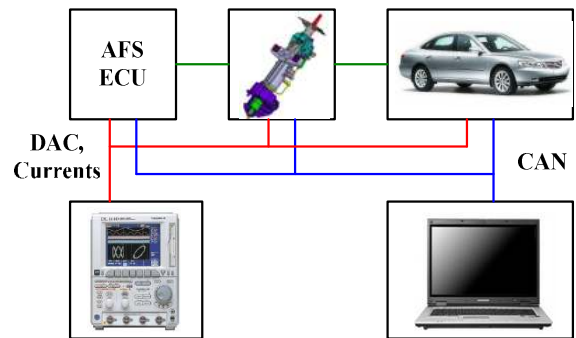


그림 5 실험 장치 구성
Fig. 5 Experimental setup

CAN을 가지고 있어 이를 통하여 제어 변수의 모니터링 및 기록을 수행한다. 또한 배터리 전류, 모터의 상전류 및 ECU내부 변수의 모니터링용 DAC(Digital to Analog Converter)의 인터페이스를 위하여 디지털 오실로스코프를 장착하였다.

3.2 조향 응답성 측정

그림 6은 액추에이터의 조향 응답성능을 보여주고 있다. 조향 조건은 가장 큰 부하조건인 정차상태에서 조향휠의 우측 450~540[deg] 구간을 반복하여 조향하는 조건으로 실험을 실시하였다. 그림 6에서 나타나 있는 것 처럼 시간 지연이 거의 없이 지령값을 잘 추종함을 알 수있다.

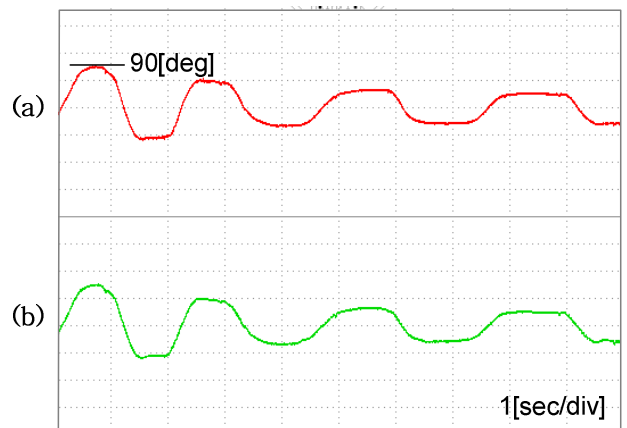


그림 6 액추에이터 응답성 측정
(a) 출력 조향각 지령 (b) 출력 조향각 응답
Fig. 6 Actuator performance measurement
(a) Steering angle reference
(b) Steering angle response

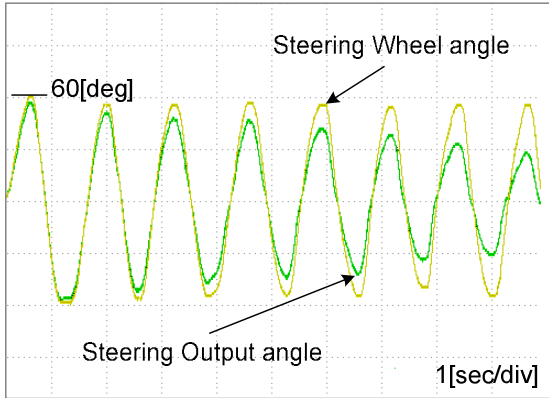


그림 7 가변 조향 로직 시험(60~120[km/h] 가속)
 Fig. 7 VGR logic performance test result
 (60~120[km/h] acceleration mode)

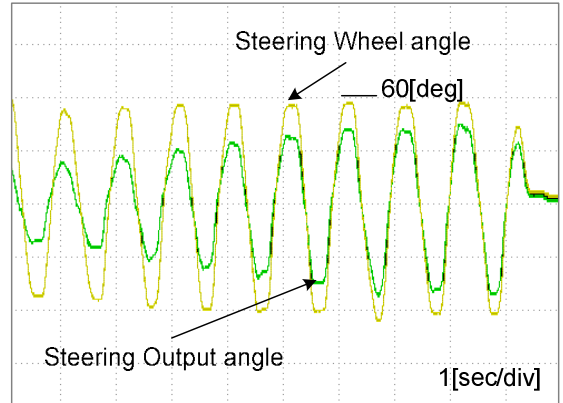


그림 8 가변 조향 로직 시험(120~60[km/h] 감속)
 Fig. 8 VGR logic performance test result
 (120~60[km/h] deceleration mode)

3.3 가변 조향 로직 시험

그림 7, 8은 VGR로직의 성능 시험 결과를 나타낸다. 그림 7에서 시험 조건은 60~120[km/h]의 가속 모드이며 조향휠을 좌우로 60[deg]씩 약 0.7[Hz]의 주파수로 돌리면서 출력 조향각을 측정하였다. 그림 7에 나타난 바와 같이 운전자가 조향휠을 일정한 각으로 반복 회전할 경우 60[km/h] 부근에서는 거의 1:1의 조향비를 보이지만 속도가 증가할 수록 입력 조향각 대비 출력 조향각의 크기가 작아짐을 알 수 있다. 따라서, 고속 주행 시 안정성을 확보함을 알 수 있다. 그림 8은 120~60[km/h]의 감속 모드에서 약 1[Hz]의 주파수로 조향휠을 반복 회전했을 경우와 입력 조향각과 출력 조향각을 측정한 것이다. 그림으로부터 속도 느려질 수록 출력 조향각의 크기가 커짐을 알 수 있다.

4. 결 론

본 논문은 실용화를 목적으로 한 자동차용 AFS 시스템에 관하여 기술하였다. 개발된 AFS 시스템은 유성 기어 구조를 가지며 출력 조향각을 자유롭게 가변하여 운전의 편의성과 안정성을 향상시킨다. AFS 시스템의 상위 제어기 및 하위 제어기에 관하여 기술하였다. 개발된 시스템은 3,300cc급 대형 승용차에 적용하여 그 유용성을 확인하였다.

참 고 문 헌

- [1] N.G. Hingorani, "Power Electronics in Electric Utilities : Role of Power Electronics in Future Power System", Proceedings of the IEEE, Vol. 76, No. 4, pp. 481-482, 1988, April.
- [2] P.Koehn, M.Eckrich, "Active Steering - The BMW Approach Toward Modern Steering Technology," SAE Technical paper, 2004-01-1105.
- [3] S.Singh, "Design of front wheel active steering for improved vehicle handling and stability, " SAE Technical paper, 2000-01-1619..